



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OTTO HONKASALO
YLEISSUUNNITTELUN JA INVESTOINTIEN HALLINNAN KEHIT-
TÄMINEN OULUN ENERGIA SIIRTO JA JAKELU OY:SSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 3.12.2014

TIIVISTELMÄ

OTTO HONKASALO: Yleissuunnittelun ja investointien hallinnan kehittäminen
Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:ssä
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 75 sivua, 8 liitesivua
Kesäkuu 2015
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Sähköverkot –ja markkinat
Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: yleissuunnittelu, investointien hallinta, Trimble NIS, Trimble CPP, Trimble NIM, HeadPower Työnohjaus sovellus

Yleissuunnittelu keskittyy sähköverkon pitkän tähtäimen suunnitteluun ja suunnittelee sähköjakeluverkkoyhtiön strategiset investoinnit. Tässä työssä testataan kolme soveltusta ja tarkoituksena on selvittää niiden soveltuvuus Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n yleissuunnitteluun ja investointien hallintaan. Työn toinen tavoite on laatia kehitysehdotuksia yleissuunnittelun toimintaan.

Yleissuunnittelun nykyisissä toimintamenetelmissä on kaksi pääongelmaa. Ensiksi, yleissuunnitelmien rakennuskustannukset lasketaan kahdella järjestelmällä, jotka ovat verkkotietojärjestelmä ja Excel. Tämä menetelmä on hidas ja työläs. Toiseksi, yleissuunnitelmat ja niihin liittyvät aikataulu- ja budjettitiedot sijaitsevat eri järjestelmissä ja eri tiedostoissa. Tämä vaikeuttaa yleissuunnitelmien hallintaa ja investointien suunnittelua.

Ensimmäinen testattava sovellus on Trimble Construction Project Planning (CPP), joka on Trimble Network Information System -verkkotietojärjestelmän sovellus. Se laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset. CPP:n käyttöä testattiin laskemalla sillä rakennuskustannukset kahdelle yleissuunnitelmalle, yhdelle uudisrakennuskohteelle ja yhdelle saneerauskohteelle. Toinen testattava sovellus on Trimble Network Investment Management (NIM), joka on myös Trimble Network Information System -verkkotietojärjestelmän sovellus. Kolmas testattava sovellus on HeadPower Työnohjaus sovellukseen liitettävä Yleissuunnittelu –toiminto. NIM ja Yleissuunnittelu -toiminto liittyvät investointien hallintaan ja niillä voidaan suunnitella, budjetoida, aikatauluttaa ja seurata investointeja.

Tärkein kehitysehdotus yleissuunnittelun toimintaan on tiedonvaihdon parantaminen muiden osastojen välillä, erityisesti kohdesuunnittelun välillä. Yleissuunnittelun kannattaisi antaa kohdesuunnittelijoille enemmän tietoa saneerauskohteista ja niiden rakennuskustannuksista.

Työn johtopäätöksenä suositellaan CPP:n ja investointien hallinta –sovelluksen hankintaa. CPP mahdollistaisi nopeamman ja tarkemman rakennuskustannusten laskennan yleissuunnitelmille. Investointien hallinta -sovelluksen käyttö parantaisi yleissuunnitelmien hallintaa, investointien suunnittelua ja yleissuunnittelun tiedonvaihtoa muiden osastojen välillä.

ABSTRACT

OTTO HONKASALO: Development of Strategic Planning and Investment Management at Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 75 pages, 8 Appendix pages
June 2015
Master's Degree Programme in Electrical Engineering
Major: Power Systems and Market
Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: strategic planning, investment management, Trimble NIS, Trimble CPP, Trimble NIM, HeadPower Work Order Management application

Strategic planning focuses on long-term network planning and plans the strategic investments of an electricity distribution company. The main objective of this thesis is to test three applications and to examine their suitability for strategic planning and investment management at Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Another aim is to create or find development points for strategic planning.

The current work procedures of strategic planning generally have two main problems. Firstly, the construction costs for strategic network plans are calculated with two systems, which are network information system and Excel. This method is slow and complicated. Secondly, strategic network plans and other information related to them - such as their budgets and timetables - are stored in different systems and in different files. This makes the management of strategic network plans and investment planning complex.

The first application tested in this thesis is Trimble Construction Project Planning (CPP) which is an extension of Trimble NIS network information system. It calculates the construction costs of network components. CPP is tested by calculating construction costs for two strategic network plans, a renovation project and for a new construction project. The second application tested is Trimble Network Investment Management (NIM) which is also an extension of Trimble NIS network information system. The third application is a Strategic Planning extension to the HeadPower Work Order Management application. NIM and Strategic Planning extension are both related to investment management and can be used for planning, budgeting, timing and monitoring investments.

The main development point, considering strategic planning, is improving communication with other departments, especially with project planning. The strategic planning department should provide to project planning designers more information about renovation projects and their construction costs.

As a conclusion, it is recommended to purchase CPP as well as one of the tested investment management applications. CPP would enable a faster and more accurate calculation of construction costs for strategic network plans. Using an investment management application would improve the management of strategic network plans, investment planning and enhance communication between strategic planning and other departments.

ALKUSANAT

Diplomityö on tehty Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n ehdottamasta aiheesta.

Työn ohjaajana on toiminut Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n yleissuunnittelupäällikkö Jarno Liimatainen. Haluan esittää hänelle suuret kiitokset hyvästä opastuksesta, jota olen saanut koko diplomityön aikana. Työn tarkastajana on toiminut professori Pekka Verho ja kiitän häntä hyvistä neuvoista ja kommenteista. Haluan esittää myös kiitokset Trimblelle ja HeadPowerille, koska he antoivat minulle mahdollisuuden testata heidän sovelluksiaan tässä työssä. Kiitän myös muuta Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n henkilökuntaa, jolta olen saanut arvokasta tietoa työhön liittyen.

Suuret kiitokset kuuluvat myös vanhemmilleni, jotka ovat tukeneet minua koko opiskeluaikana sekä diplomityön aikana.

Oulussa, 20.5.2015

Otto Honkasalo

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | JOHDANTO | 1 |
| 2. | YRITYKSEN ESITTELY | 3 |
| 2.1 | Oulun Energia -konserni | 3 |
| 2.2 | Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy..... | 4 |
| 3. | YLEISSUUNNITTELUN TEORIA | 5 |
| 3.1 | Yleissuunnittelun määritelmä..... | 5 |
| 3.2 | Sähkönjakeluverkon suunnitteluprosessi | 5 |
| 3.3 | Elinkaarikustannukset | 6 |
| 3.3.1 | Investointikustannukset..... | 7 |
| 3.3.2 | Häviökustannukset | 8 |
| 3.3.3 | Keskeytyskustannukset | 9 |
| 3.3.4 | Kunnossapitokustannukset..... | 11 |
| 3.4 | Keskijänniteverkon muoto | 12 |
| 3.5 | Keskijänniteverkon tekniset reunaehdot | 12 |
| 3.6 | Kuormituksen mallintaminen | 13 |
| 3.7 | Kuormituksen kasvu..... | 15 |
| 3.8 | Uudistunut sähkömarkkinalaki..... | 16 |
| 3.9 | Energiaviraston valvontamenetelmä | 17 |
| 3.9.1 | Kohtuullinen tuotto | 18 |
| 3.9.2 | Toteutunut oikaistu tulos..... | 19 |
| 3.9.3 | Laatukannustin | 21 |
| 4. | YLEISSUUNNITTELUN NYKYTILANNE..... | 22 |
| 4.1 | OESJ:n organisaatio | 22 |
| 4.2 | Yleissuunnittelun tehtävät ja sidosryhmät..... | 23 |
| 4.3 | OESJ:n investoinnit..... | 24 |
| 4.4 | Investointisuunnitelma | 25 |
| 4.5 | Budjetti | 26 |
| 4.6 | Rakennusohjelma | 26 |
| 4.7 | Toimitusvarmuusinvestoinnit..... | 26 |
| 4.8 | Energiaviraston valvontamenetelmä | 29 |
| 4.9 | Jakeluverkon uudisrakennuskohteen suunnitteluprosessi | 29 |
| 4.10 | Jakeluverkon saneerauskohteen suunnitteluprosessi..... | 31 |
| 4.11 | Siirtoverkon suunnitteluprosessi | 33 |
| 4.12 | Kuormitusennusteet..... | 34 |
| 4.13 | Sähköasemien korvaustarkastelut | 34 |
| 4.14 | Vikatarkastelut | 35 |
| 4.15 | Elinkaarikustannukset | 35 |
| 4.15.1 | Häviökustannukset..... | 35 |
| 4.15.2 | Keskeytyskustannukset | 36 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.15.3 | Kunnossapitokustannukset..... | 36 |
| 4.16 | Yleissuunnittelun pääongelmat | 36 |
| 4.16.1 | Rakennuskustannusten laskeminen..... | 36 |
| 4.16.2 | Yleissuunnitelmien ja investointien hallinta | 37 |
| 5. | SÄHKÖVERKON SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄT | 38 |
| 5.1 | Trimble | 38 |
| 5.1.1 | Trimble Network Information System | 38 |
| 5.1.2 | NIS:n käyttö yleissuunnittelussa | 39 |
| 5.1.3 | Trimble Construction Project Planning..... | 40 |
| 5.1.4 | Trimble Network Investment Management | 41 |
| 5.2 | HeadPower | 45 |
| 5.2.1 | HeadPower Työnohjaus sovellus | 45 |
| 5.2.2 | Työnohjaus sovelluksen rakennuttamisprosessi | 45 |
| 5.2.3 | HeadPower Yleissuunnittelu –toiminto | 46 |
| 6. | YLEISSUUNNITELMIEN LAADINTA | 49 |
| 6.1 | Uudisrakennuskohde: Pateniemenrannan asemakaava | 49 |
| 6.2 | Saneerauskohde: Hannuslenkki..... | 52 |
| 6.2.1 | Maakaapeliverkko | 52 |
| 6.2.2 | Ilmajohtoverkko | 55 |
| 6.3 | Saneerauskohteen elinkaarikustannukset | 56 |
| 6.3.1 | KAH kustannukset | 56 |
| 6.3.2 | Viankorjauskustannukset | 58 |
| 6.3.3 | Kunnossapitokustannukset..... | 58 |
| 6.3.4 | Elinkaarikustannusten vertailu | 59 |
| 7. | JOHTOPÄÄTÖKSET SOVELLUKSISTA | 61 |
| 7.1 | Trimble CPP:n käyttö yleissuunnittelussa | 61 |
| 7.2 | Trimble CPP:n käyttö kohdesuunnittelussa | 62 |
| 7.3 | Trimble NIM | 62 |
| 7.4 | HeadPower Yleissuunnittelu –toiminto | 63 |
| 7.5 | Parannusehdotukset Trimble CPP:hen | 64 |
| 7.6 | Parannusehdotukset HeadPower Yleissuunnittelu –toimintoon | 65 |
| 7.7 | Sovellusten hankintavaihtoehdot..... | 65 |
| 7.8 | Sovellusten hankintasuositukset..... | 67 |
| 8. | YLEISSUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN | 68 |
| 8.1 | Tiedonvaihto muiden osastojen kanssa | 68 |
| 8.2 | Tiedonvaihto kohdesuunnittelun välillä..... | 68 |
| 8.3 | Tiedonvaihto Siirtopalvelu –osaston välillä..... | 69 |
| 8.4 | Tiedonvaihto jakeluverkon kunnossapidon välillä..... | 69 |
| 8.5 | Keskeytys- ja kunnossapitokustannusten mallintaminen..... | 70 |
| 8.6 | Haja-asutusalueen jakeluverkon suunnitteluohje | 70 |
| 9. | YHTEENVETO | 72 |
| | LÄHTEET | 74 |

LIITE A: OESJ:N KESKIJÄNNITEVERKKO

LIITE B: OESJ:N LUOTETTAVUUSPARAMETRIT

LIITE C: EV:N VERKKOKOMPONENTIT JA INDEKSIKORJATUT YKSIKKÖ-
HINNAT VUODELLE 2014

LIITE D: PATENIEMENRANNAN ASEMAKAAVAN MUUNTAMOIDEN
MITOITUS

LIITE E: HANNUSLENKIN JAKELUMUUNTAJIEN MITOITUS

LIITE F: HANNUSLENKIN KAH KUSTANNUSTEN LASKENTA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Lyhenteet

| | |
|-----------------|---|
| ATJ | Asiakastietojärjestelmä |
| CPP | Construction Project Planning |
| DMS | Distribution Management System |
| EV | Energiavirasto |
| ERP-järjestelmä | Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning) |
| JHA | Jälleenhankinta-arvo |
| KAH | Keskeytyksestä aiheutunut haitta |
| KJ-verkko | Keskijänniteverkko |
| KTJ | Käytöntukijärjestelmä |
| KVJ | Käytönvalvontajärjestelmä |
| NIM | Network Investment Management |
| NIS | Network Information System |
| NKA | Nykykäyttöarvo |
| OE -konserni | Oulun Energia -konserni |
| OESJ | Oulun Energia Sähkön Siirto ja Jakelu Oy |
| OEU | Oulun Energia Urakointi Oy |
| PJ-verkko | Pienjänniteverkko |
| SJ-verkko | Suurjänniteverkko |
| VTJ | Verkkotietojärjestelmä |

Muuttujat

| | |
|---------------|--|
| A_1 | Pienempi johdinpoikkipinta |
| A_2 | Suurempi johdinpoikkipinta |
| $a_{n,i}$ | Jaksollisten suoritusten diskonttaustekijä vuosille n ja laskentakorolle i |
| c_h | Häviöiden hinta |
| E_r | Käyttäjärühmän r vuosienergia |
| H_h | Häviöenergian hinta |
| $h_{E,odott}$ | Odottamattomien keskeytysten energiahinta |
| $h_{W,odott}$ | Odottamattomien keskeytysten tehohinta |
| i | Laskentakorko desimaalilukuna |
| K_h | Häviökustannusten nykyarvon summa |
| K_n | Vuonna n syntyvä kustannus |
| K_{h1} | Ensimmäisen vuoden häviökustannus |
| $K_{häv}$ | Häviökustannus |
| K_{inv} | Investointikustannus |

| | |
|--------------------|--|
| K_{kesk} | Keskeytyskustannus |
| K_{kun} | Kunnossapitokustannus |
| $K_{KAH_odott,k}$ | Odottamattomien keskeytysten KAH kustannus vuoden k rahanarvossa |
| KHI_{k-1} | Kuluttajahintaindeksi vuonna $k-1$ |
| KHI_{2004} | Kuluttajahintaindeksi vuonna 2004 |
| k | Kustannuksen nykyarvo |
| k_{IA1} | Johdinpoikkipinnan A_1 investointikustannus |
| k_{IA2} | Johdinpoikkipinnan A_2 investointikustannus |
| n | Aika vuosina |
| n | Sähkönkäyttäjien määrä |
| n_1 | Käyttäjärühmän 1 sähkönkäyttäjien määrä |
| n_2 | Käyttäjärühmän 2 sähkönkäyttäjien määrä |
| n_{odott} | Odottamattomien keskeytysten määrä |
| \bar{P} | Yksittäisen sähkönkäyttäjän keskiteho |
| \bar{P}_1 | Käyttäjärühmään 1 kuuluvan sähkönkäyttäjän keskiteho |
| \bar{P}_2 | Käyttäjärühmään 2 kuuluvan sähkönkäyttäjän keskiteho |
| P_h | Häviöteho |
| P_{as} | Asiakkaiden keskikulutusteho |
| P_{ri} | Käyttäjärühmän r ajankohdan i tuntikeskiteho |
| P_{max} | Sähkönkäyttäjien huipputeho |
| P_{hmax} | Häviöiden huipputeho |
| p | Laskentakorko |
| r | Kuorman vuotuinen tehonkasvuprosentti |
| r_{A1} | Johdinpoikkipinnan A_1 resistanssi |
| r_{A2} | Johdinpoikkipinnan A_2 resistanssi |
| Q_{ri} | Käyttäjärühmän r ajankohtaa i vastaava 2-viikkoindeksi |
| q_{ri} | Käyttäjärühmän r ajankohtaa i vastaava tunti-indeksi |
| S | Tasasuuri kustannus |
| S_I | Johdinpoikkipintojen A_1 ja A_2 taloudellinen rajateho |
| s | Kustannusten nykyarvon summa |
| t_h | Häviöiden huipunkäyttöaika |
| t_{odott} | Odottamattomien keskeytysten keskeytysaika |
| U | Pääjännite |
| W_h | Häviöenergia |
| z_a | Ylitystodennäköisyyttä a vastaava normaalijakauman kerroin |
| κ | Kapitalisointikerroin |
| σ | Tuntitehon hajonta |
| σ_1 | Käyttäjärühmän 1 tuntitehon hajonta |
| σ_2 | Käyttäjärühmän 2 tuntitehon hajonta |
| ψ | Psi-kerroin |

1. JOHDANTO

Sähköverkon strategista ja pitkän tähtäimen suunnittelua kutsutaan yleissuunnitteluksi. Yleissuunnittelu määrittelee pääsuuntaviivat sähköverkon kehittämiselle ja suunnittelee sähköverkkoyhtiön strategiset investoinnit pitkälle tulevaisuuteen. Sähköverkkokomponenttien pitkät pitoajat ja kalliit investointikustannukset sekä sähköverkolle asetetut tekniset, taloudelliset ja luotettavuuteen liittyvät vaatimukset asettavat sähköverkon pitkän tähtäimen suunnittelulle haasteita. Yleissuunnittelu käyttää eri tietojärjestelmiä ja sovelluksia sähköverkon suunnitteluun ja investointien hallintaan.

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n (OESJ:n) yleissuunnittelussa on resurssipula ja siten on noussut tarve kehittää tehokkaampia työkaluja ja menetelmiä suunnitteluun ja investointien hallintaan. Tässä työssä testataan kolme sovellusta, joista yksi liittyy sähköverkon rakennuskustannusten laskentaan ja kaksi investointien hallintaan. Työn ensimmäinen tavoite on selvittää, onko niistä hyötyä OESJ:n yleissuunnitteluun ja investointien hallintaan. Toinen tavoite on laatia kehitysehdotuksia OESJ:n yleissuunnittelun toimintaan.

Yleissuunnittelun nykyisissä toimintamenetelmissä on kaksi pääongelmaa. Ensimmäinen pääongelma liittyy sähköverkon rakennuskustannusten laskentaan. Yleissuunnittelu laskee yleissuunnitelmien rakennuskustannukset kahdella järjestelmällä, jotka ovat verkkotietojärjestelmä (VTJ) ja Excel. Yleissuunnittelu suunnittelee sähköverkon VTJ:llä, mutta sillä ei voi laskea verkkokomponenttien rakennuskustannuksia, koska siihen tarvittava toiminto puuttuu OESJ:n VTJ:stä. Sen tähden yleissuunnittelu laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset Excelillä. Rakennuskustannusten laskenta kahdella järjestelmällä on hidasta ja työlästä. Lisäksi manuaalisessa laskennassa ja tiedonsiirrossa syntyy helposti virheitä.

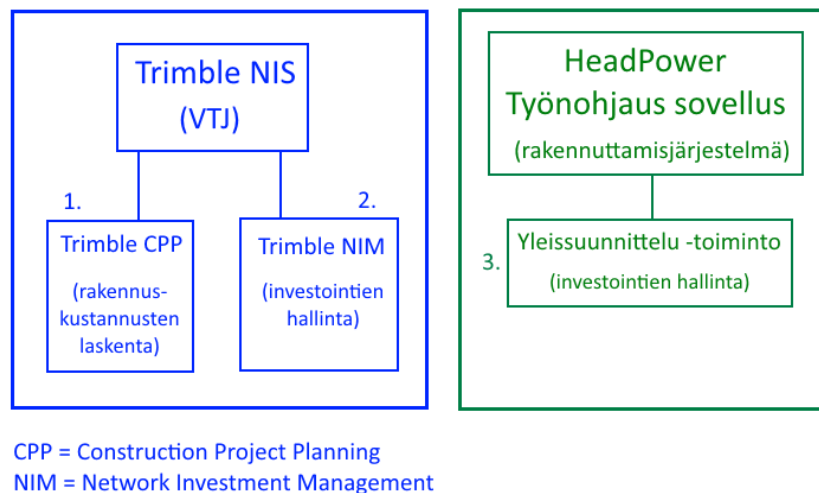
Toinen pääongelma liittyy yleissuunnitelmien ja investointien hallintaan. Yleissuunnitelmat ja niihin liittyvät budjetti- ja aikataulutiedot sijaitsevat eri järjestelmissä ja eri tiedostoissa. Tämä vaikeuttaa yleissuunnitelmien hallintaa ja investointien suunnittelua. Lisäksi muiden osastojen on vaikea nähdä yleissuunnitelmia ja antaa niihin palautetta.

Ensimmäinen testattava sovellus on Trimble Construction Project Planning (CPP). Se on Trimble Network Information System (NIS) –verkkotietojärjestelmän sovellus, joka laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset yksikköhintalistalla. CPP mahdollistaa sen, että sähköverkon suunnittelun ja rakennuskustannusten laskennan voi tehdä samalla järjestelmällä. CPP:n toimintaa ja käytettävyyttä testataan laskemalla sillä ra-

kennuskustannukset kahdelle yleissuunnitelmalle, yhdelle uudisrakennuskohteelle ja yhdelle saneerauskohteelle.

Toinen testattava sovellus on Trimble Network Investment Management (NIM), joka on myös NIS:n sovellus. Kolmas testattava sovellus on HeadPower Työnohjaus sovellukseen liitettävä Yleissuunnittelu –toiminto. HeadPower Työnohjaus sovellus on OESJ:n rakennuttamisjärjestelmä, jota käytetään verkon rakennustöiden tilaamiseen. NIM ja Yleissuunnittelu -toiminto voidaan luokitella investointien hallinta –sovellukseksi, koska niillä voidaan suunnitella, budjetoida, aikatauluttaa ja seurata investointeja. Sovellukset sisältävät myös muita toimintoja, jotka riippuvat niiden pääjärjestelmästä. NIM:illä voidaan tarkastella lukuisia teknisiä ja taloudellisia tunnuslukuja investoinneille, joiden tiedot saadaan NIS:stä. Yleissuunnittelu -toiminnolla voidaan verrata investointeja Työnohjaus sovelluksessa oleviin rakennustöihin. Kummatkin sovellukset sisältävät joitakin samanlaisia toimintoja, mutta myös paljon erilaisia toimintoja, koska ne ovat kytkettyinä eri pääjärjestelmiin. Sen tähden sovelluksia ei voida suoraan verrata keskenään. Sovellusten toimintaa testataan yleisellä tasolla. Kuva 1.1 esittää testattavat sovellukset ja niiden pääjärjestelmät.

Luvussa 2 esitellään lyhyesti Oulun Energia -konserni ja sen tytäryhtiö OESJ. Luku 3 kertoo yleissuunnittelun teoriasta. Siinä esitellään sähköverkon suunnittelun ja Energiamviraston (EV:n) valvontamallin pääperiaatteet. Luvussa 4 kuvaillaan OESJ:n yleissuunnittelun nykytilannetta. Siinä esitellään yleissuunnittelun tehtävät ja nykyiset toimintatavat. Luvussa 5 esitellään testattavat sovellukset ja niiden pääjärjestelmät. Luvussa 6 luodaan yleissuunnitelma yhdelle uudisrakennuskohteelle ja yhdelle saneerauskohteelle, joiden rakennuskustannukset lasketaan CPP:llä. Luvussa 7 esitetään johtopäätökset sovelluksista ja pohditaan, mitä hyötyä niistä voisi olla yleissuunnittelun käyttöön. Luvussa 8 esitetään kehitysehdotuksia yleissuunnittelun toiminnalle. Luvussa 9 on työn yhteenveto.



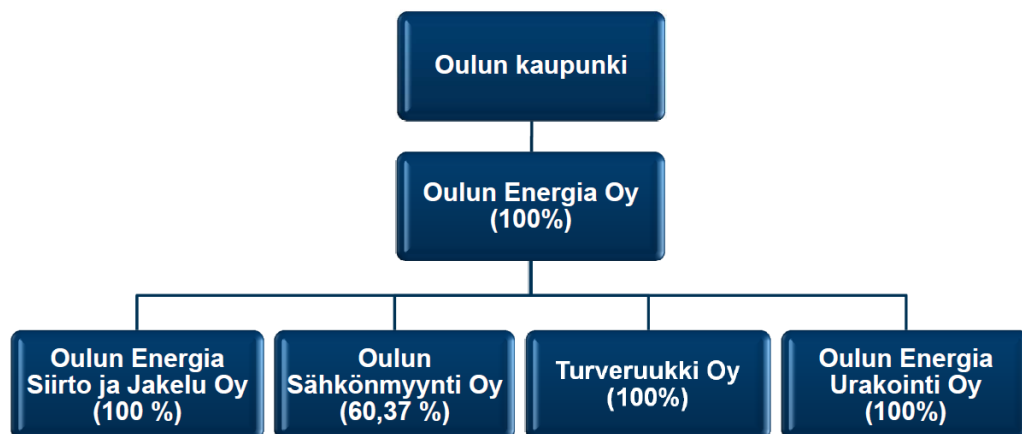
Kuva 1.1 Tässä työssä testattavat sovellukset ja niiden pääjärjestelmät.

2. YRITYKSEN ESITTELY

Tässä luvussa esitellään Oulun Energia –konserni ja sen tytäryhtiö OESJ.

2.1 Oulun Energia -konserni

Oulun Energia –konserni (OE -konserni) tuottaa sähköä ja lämpöä asiakkailleen. Konserni omistaa koko energiantuotannon arvoketjun, joka sisältää raaka-aineiden hankinnan, sähkön- ja lämmön tuottamisen, sähkön- ja lämmön jakelun ja sähköverkon urakointipalvelut [1]. Konsernin emoyhtiönä toimii Oulun kaupungin omistama Oulun Energia Oy. Oulun Energia Oy omistaa kolme tytäryhtiötä, jotka ovat OESJ, Turveruukki Oy ja Oulun Energia Urakointi Oy (OEU). Lisäksi se omistaa yhdessä muiden pohjoissuomalaisten energiayhtiöiden kanssa Oulun Sähkönmyynti Oy:n. Kuva 2.1 havainnollistaa OE –konsernin rakennetta.



Kuva 2.1 Oulun Energia –konsernin rakenne.

Oulun Energia Oy tuottaa sähköä ja lämpöä omilla voimalaitoksillaan ja voimalaitosten osuuksilla. Merkittävimmät voimalaitokset ovat Toppilan voimalaitos, Merikosken voimalaitos ja Laanilan ekovoimalaitos. Oulun Energia Oy omistaa Oulun kaukolämpöverkon ja vastaa kaukolämmön jakelusta. Oulun Energia Oy vastaa myös konsernin yhteisistä palveluista, kuten taloushallinnosta, tietohallinnosta, HR-palveluista, viestinnästä ja toimistopalveluista.

OESJ omistaa Oulun kaupungin alueella sijaitsevan sähkönjakeluverkon ja vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta. Oulun Sähkönmyynti Oy:n vastaa sähkön myynnistä, laskutuksesta ja asiakaspalvelusta. Turveruukki Oy tuottaa energiaturvetta ja muita biopolttoaineita, joita käytetään polttoaineena sähkön ja lämmön tuotantoon [2]. OEU rakentaa ja

ylläpitää sähköverkkoa, katuvalaistuksia, kameravalvontajärjestelmiä ja televerkkoja [3].

2.2 Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy

OESJ on sähköverkkoyhtiö, joka omistaa suurimman osan Oulun kaupungin alueella sijaitsevasta sähköjakeluverkosta. OESJ:n sähköjakeluverkko ei kata seuraavia Oulun kaupungin alueita: Haukipudas, Oulunsalo ja Yli-Kiiminki. Liite A esittää OESJ:n sähköjakeluverkkoalueen, jossa näkyy keskijänniteverkko (KJ-verkko). OESJ vastaa sähkönsiirrosta ja jakelusta, sähköverkon suunnittelusta, rakennuttamisesta, kunnossapidosta ja sähkönsiirto- ja mittauspalveluista. Taulukko 2.1 esittää OESJ:n tunnuslukuja vuodelta 2014.

OESJ:n sähköjakeluverkkoalue voidaan jakaa kolmeen alueeseen: Oulun kantakaupunki, Kiiminki ja Yli-Ii. Suurin osa sähkönsiirto- ja jakelusta sijaitsee Oulun kantakaupungin alueella, jossa sijaitsee 11 sähköasemaa. KJ-verkko on enimmäkseen silmukoitua maakaapeliverkkoa. Oulun kantakaupungin alueella kulkee 42 km pituinen silmukoitu 110 kV:n siirtoverkko, joka yhdistää sähköasemat kantaverkkoon.

Kiiminkiin kuuluu pieni taajama-alue ja sitä ympäröivä haja-asutusalue. Kiimingin keskusta sijaitsee noin 18 kilometriä Oulun kaupungin keskustasta koilliseen. Kiimingin alueen KJ-verkko koostuu kaapeliverkosta ja ilmajohtoverkosta. Kiimingissä sijaitsee kaksi sähköasemaa.

Yli-Ii on laaja haja-asutusalue, jonka keskusta sijaitsee noin 42 kilometriä Oulun kaupungin keskustasta koilliseen. Yli-Iin sähköjakeluverkko siirtyi OESJ:n omistukseen vuonna 2013 kuntaliitoksen seurauksena. KJ-verkko on enimmäkseen säteittäistä ilmajohtoverkkoa. Yli-Iissä sijaitsee yksi sähköasema. OESJ tulee tulevaisuudessa investoimaan paljon Kiimingin ja Yli-Iin alueeseen, jossa vanhaa ilmajohtoa korvataan maakaapelilla.

Taulukko 2.1 OESJ:n tunnuslukuja vuodelta 2014.

| | |
|--|-----------------|
| Liikevaihto | 27,7 M€ |
| Liikevoitto | 7,7 M€ |
| Investoinnit | 11,7 M€ |
| Henkilöstömäärä | 45 |
| Asiakasmäärä | 97 413 |
| Sähkönsiirto asiakkaille | 1 158 GWh |
| Sähköasemien lukumäärä | 14 kpl |
| 110 kV:n verkon pituus (maakaapelointiaste) | 48 km (8 %) |
| KJ-verkon pituus (maakaapelointiaste) | 1 000 km (61 %) |
| PJ-verkon pituus (maakaapelointiaste) | 2 895 km (84 %) |
| KJ-verkon vikojen määrä | 155 kpl |
| KJ-verkon vikojen keskimääräinen keskeytysaika | 0,246 h/asiakas |

3. YLEISSUUNNITTELUN TEORIA

Tämä luku esittää keskeiset periaatteet sähköjakeluverkon suunnitteluun yleissuunnittelun näkökulmasta. Lisäksi tässä luvussa esitellään EV:n valvontamallin toimintaperiaate.

3.1 Yleissuunnittelun määritelmä

Yleissuunnittelu on osa sähköverkon suunnitteluprosessia, joka keskittyy sähköverkon strategiseen ja pitkän tähtäimen suunnitteluun. Yleissuunnittelu luo pääsuuntaviivat sähköverkon kehittämiselle, jotta sähköverkko täyttäisi tekniset, taloudelliset sekä turvallisuuden ja luotettavuuteen liittyvät vaatimukset muutamaksi kymmeneksi vuodeksi eteenpäin. Näitä vaatimuksia asettavat sähköverkkoyhtiön omistaja, asiakkaat ja lain-säädäntö. [4, s. 9-10] [5, s. 63-64]

Yleissuunnittelu pyrkii kuormitusennusteiden avulla arvioimaan, miten sähköverkkoa tulisi kehittää, jotta sen siirtokapasiteetti olisi riittävällä tasolla tulevaisuudessa. Yleissuunnittelu laatii investointisuunnitelman, joka sisältää sähköverkon strategiset investoinnit pitkälle aikavälille. Strategiset investoinnit määrittelevät sähköverkon muodon ja niitä ovat esimerkiksi sähköasemat, suurjännitejohdot ja keskijänniterunkojohdot. [4, s. 9-10] [5, s. 63-64]

Sähköverkon investoinnit pitää suunnitella huolellisesti, koska sähköverkkokomponenttien teknis-taloudelliset pitoajat ovat pitkiä, usein 30-50 vuotta, ja niiden investointikustannukset ovat korkeat. Yleissuunnittelun tehtäviin kuuluu myös investointien rahoituksen ja sähköverkkoyhtiön talouden suunnittelu. [4, s. 9-10] [5, s. 63-64]

3.2 Sähköjakeluverkon suunnitteluprosessi

Sähköjakeluverkon suunnitteluprosessi voidaan jakaa karkeasti seuraaviin suunnittelu-tehtäviin:

1. Yleissuunnittelu
2. Kohdesuunnittelu
3. Maastosuunnittelu
4. Rakennuttaminen

Yleissuunnittelu vastaa sähköverkon strategisesta suunnittelusta ja luo pääsuuntaviivat sähköverkon kehittämiselle. Kohdesuunnittelu keskittyy pienempiin hankkeisiin ja te-

kee niille yksityiskohtaisen suunnitelman, eli tarkan mitoituksen ja komponenttivalinnan. Yleissuunnittelu antaa kohdesuunnittelun hankkeille tekniset ja taloudelliset lähtötiedot ja määrittelee verkostotekniikan. Kohdesuunnittelua voidaan kutsua myös verkoston kohdesuunnitteluksi, verkostosuunnitteluksi tai hankesuunnitteluksi. [5, s. 63-64]

Maastosuunnittelu selvittää johtojen ja kaapeleiden kulkureitin maastossa sekä muuntamoiden ja jakokaappien sijoituspaikat. Maastosuunnittelu tekee maanomistajien kanssa sijoitussopimukset kaapeleista, johdoista, muuntamoista ja jakokaapeista. Maastosuunnittelun jälkeen hanke siirtyy rakennuttamisvaiheeseen. Sähköverkkoyhtiöt tilaavat rakennustyön yleensä urakoitsijalta ja valvovat sen rakentamista. [5, s. 63-64]

Yleissuunnitelma on yleissuunnittelun tekemä yleispiirteinen suunnitelma laajemman alueen sähköverkon uudisrakentamisesta tai saneerauksesta, joka voi ajoittua lähitulevaisuuteen tai pitkälle tulevaisuuteen. Yleissuunnitelma voi olla esimerkiksi suunnitelma uuden asemakaava-alueen sähköverkosta tai pitkän johtopätkän saneerauksesta. Yleissuunnitelmaa voidaan kutsua myös investoinniksi.

Kohdesuunnitelma on kohdesuunnittelun tekemä yksityiskohtainen suunnitelma pienemmästä hankkeesta, joka ajoittuu lähitulevaisuuteen. Kohdesuunnitelma voi olla esimerkiksi suunnitelma yhden muuntamon rakentamisesta. Kohdesuunnitelmaa voidaan kutsua myös hankesuunnitelmaksi tai toteutussuunnitelmaksi. Kun kohdesuunnitelma siirtyy rakentamisvaiheeseen, sitä voidaan kutsua verkon rakennustyöksi, rakennustyöksi tai verkostotyöksi. Yleensä yleissuunnitelma jaetaan useampaan pienempään osaan, eli useampaan kohdesuunnitelmaan, joita on helpompi hallita edellä kuvatuissa suunnittelutehtävissä.

3.3 Elinkaarikustannukset

Yleissuunnittelu pyrkii löytämään optimaalisen teknis-taloudellisen mitoituksen sähköverkolle, jonka elinkaarikustannusten nykyarvo tarkasteluaikavälillä olisi mahdollisimman pieni. Sähköverkon mitoituksessa on lisäksi huomioitava, että se on riittävän luotettava ja täyttää tekniset reunaehdot. Tätä optimointitehtävää kuvaa yhtälö

$$\min \sum_{t=1}^T [K_{inv}(t) + K_{häv}(t) + K_{kesk}(t) + K_{kun}(t)] \quad (3.1)$$

jossa $K_{inv}(t)$ kuvaa investointikustannuksia vuonna t , $K_{häv}(t)$ häviökustannuksia vuonna t , $K_{kesk}(t)$ keskeytyskustannuksia vuonna t , $K_{kun}(t)$ kunnossapitokustannuksia vuonna t ja T on tarkasteluaikavälin pituus vuosina. Investointikustannukset ovat kertaluonteisia ja suhteellisen helposti laskettavissa. Häviökustannuksia, keskeytyskustannuksia ja kunnossapitokustannuksia voidaan kutsua juokseviksi kustannuksiksi, koska ne syntyvät sähköverkon käytön aikana. Juoksevien kustannusten laskeminen on vaikeampaa. [5, s. 63]

Koska juoksevat kustannukset syntyvät eri ajanhetkinä kuin investointikustannukset, ne on muutettava investointiajanhetken nykyarvoon. Yksittäiselle vuodelle ajoittuvan kustannuksen nykyarvo voidaan laskea yhtälöllä

$$k = K_n \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.2)$$

jossa k on kustannuksen nykyarvo, K_n on vuonna n syntyvä kustannus, i on laskentakorko desimaalilukuna ja n on aika vuosina [6, s. 168].

Usein oletetaan, että juoksevat kustannukset ovat tarkasteluaikavälin jokaisena vuotena samansuuruisia, jolloin nykyarvon summa tarkasteluaikaväliltä voidaan laskea seuraavilla yhtälöillä:

$$s = S \cdot a_{n,i} \quad (3.3)$$

$$a_{n,i} = \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T} \quad (3.4)$$

Kustannusten nykyarvon summa s lasketaan kertomalla tasasuuri kustannus S jaksollisten suoritusten diskonttaustekijällä $a_{n,i}$ yhtälön (3.3) mukaan. Jaksollisten suoritusten diskonttaustekijä lasketaan yhtälöllä (3.4), jossa T on tarkasteluaikaväli vuosina. [6, s. 169]

Laskentakorko kuvaa inflaatiota, vieraasta pääomasta maksettavaa korkoa tai investoinnin tuotto-odotusta. Jos verkkoyhtiön strategia ei ole tuoton maksimointi, laskentakorko kuvaa vieraan pääoman reaalisia rahoituskuluja. Jos verkkoyhtiö pyrkii maksimoimaan tuottoa, laskentakorko kuvaa investoinnin reaalista minimituottoa. Korkoprosentin valinta vaikuttaa oleellisesti kustannusten nykyarvon suuruuteen. Mitä suurempi laskentakorko on, sitä enemmän se pienentää juoksevien kustannusten merkitystä. [5, s. 83-84]

3.3.1 Investointikustannukset

Investointikustannuksiin sisältyvät kaikki verkkoinvestoinnin hankintakustannukset, johon lasketaan kohdesuunnittelu, maastosuunnittelu, sijoitusluvut, rakentaminen sisältäen työ- ja materiaalikustannukset, käyttöönotto, rakennuttaminen, kaapelien kartoitus ja dokumentointi. Sähköverkon investointikustannuksia voidaan laskea EV:n yksikköhinnoilla. Ne ovat EV:n määrittelemiä verkkokomponenttien keskimääräisiä investointikustannuksia. Investointikustannukset muodostavat suurimman osan elinkaarikustannuksista.

Investointikustannusten sijaan saatetaan puhua rakennuskustannuksista. Rakennuskustannuksiin lasketaan yleensä vain verkkoinvestointien työ- ja materiaalikustannukset. Tässä työssä investointikustannukset tarkoittavat samaa asiaa kuin rakennuskustannukset.

3.3.2 Häviökustannukset

Sähköverkkoyhtiö kompensoi sähkönjakeluverkossa syntyviä häviötä ostamalla häviösähköä. Häviösähkön osto on yksi sähköverkkoyhtiön suurimpia kustannustekijöitä tuloslaskelmassa. Häviötä syntyy johtojen ja muuntajien kuormitushäviöistä sekä muuntajien tyhjäkäyntihäviöistä. Häviöenergia W_h lasketaan integroimalla häviöteho P_h ajan suhteen yhtälön (3.5) mukaisesti, jossa T on tarkasteltava aikaväli. [5, s. 34-35]

$$W_h = \int_0^T P_h(t)dt \approx P_{hmax} \cdot t_h \quad (3.5)$$

Johtojen ja muuntajien häviöteho vaihtelee ajan suhteen, sillä se on verrannollinen kuormituksen neliöön. Muuntajien tyhjäkäyntihäviöteho on verrannollinen jännitteeseen ja pysyy lähes vakiona. Johtolähtöjen häviöenergia voidaan laskea VTJ:llä, joka mallintaa vaihtelevan kuormituksen kuormituskäyrillä. Häviöenergia voidaan laskea yksinkertaisimmillaan yhtälön (3.5) mukaan kertomalla häviöiden huipputeho P_{hmax} kuvitteellisella häviöiden huipunkäyttöajalla t_h . Häviöiden huipunkäyttöajalle voidaan valita taulukko 3.1:n mukaisia arvoja. Tämä menetelmä ei anna tarkkoja arvoja. [5, s. 34-35]

Taulukko 3.1 Häviöiden huipunkäyttöaikoja [5, s. 35].

| Verkon osa | Häviöiden huipunkäyttöaika [h/a] |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Pienjänniteverkko | 700-1000 |
| Keskijännitejohto | 2000-2500 |
| Sähköasema | 3000-3500 |
| Muuntajan tyhjäkäyntihäviöt | 8760 |

Häviökustannukset lasketaan yleensä pidemmältä aikaväliltä, ja usein on tarve ottaa vuotuinen kuormituksen kasvu huomioon. Silloin voidaan käyttää seuraavia yhtälöitä:

$$K_h = K_{h1} \cdot \kappa \quad (3.6)$$

$$\kappa = \Psi \frac{\Psi^T - 1}{\Psi - 1} \quad (3.7)$$

$$\Psi = \frac{(1+r/100)^2}{1+p/100} \quad (3.8)$$

Häviökustannusten nykyarvon summa K_h saadaan kertomalla ensimmäisen vuoden häviökustannus K_{h1} kapitalisointikertoimella κ yhtälön (3.6) mukaan. Kapitalisointikerroin lasketaan yhtälöllä (3.7), jossa Ψ on psi-kerroin ja T on tarkastelu-aikaväli vuosina. Psi-kerroin lasketaan yhtälöllä (3.8), jossa r on kuorman vuotuinen tehonkasvuprosentti ja p on laskentakorko. Ensimmäisen vuoden häviökustannus voidaan laskea kertomalla vuoden häviöenergia energian keskihinnalla. Energian keskihinnaksi voidaan valita sähköpörssin vuoden tai useamman vuoden keskiarvo. [5, s. 41-42, 88-90]

Edellä esitetyt yhtälöt soveltuvat sellaisenaan muuntajien ja johtojen kuormitushäviökustannusten laskentaan. Yhtälöillä voidaan laskea muuntajan tyhjäkäyntihäviökustannukset asettamalla tehonkasvuprosentti nolllaksi. Suurin epävarmuustekijä häviökustannusten laskennassa on energian hinnan valinta, koska sitä on vaikea ennustaa pitkälle aikavälille. Myös kuormituksen kasvun ennustaminen voi olla haastavaa. Häviökustannusten osuus johtojen elinkaarikustannuksista voi olla merkittävä. Keski-jänniterunkojohdon häviökustannukset voivat olla noin 25-40 % investointikustannuksista [5, s. 88]. [5, s. 41-42, 88-90]

Johtojen häviökustannukset riippuvat oleellisesti käytettävistä poikkipinnoista. Taloudellisimman poikkipinnan valinta perustuu investointikustannusten ja häviökustannusten optimointiin. Yhtälö (3.9) laskee rajatehon kahdelle poikkipinnalle, jota suuremmalla näennäisteholle on taloudellisesti kannattavaa käyttää suurempaa poikkipintaa. [5, s. 65-66]

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{k_{IA2} - k_{IA1}}{\kappa \cdot c_h \cdot (r_{A1} - r_{A2})}} \quad (3.9)$$

Yhtälössä (3.9) S_I on rajateho, U on pääjännite, k_{IA1} ja k_{IA2} ovat poikkipintojen investointikustannukset [€/km], r_{A1} ja r_{A2} ovat poikkipintojen resistanssit [Ω /km], c_h on häviöiden hinta [€/kW·a], $A1$ on pienempi poikkipinta ja $A2$ on suurempi poikkipinta. Kapitalisointikerroin κ lasketaan yhtälöillä (3.7) ja (3.8). [5, s. 65-66]

Todellisuudessa johdinpoikkipintoja ei valita pelkästään investointikustannusten ja häviökustannusten optimoinnin perustella. Poikkipintojen valinnassa huomioidaan myös oikosulkukestoisuus ja varayhteyksissä esiintyvät kuormitukset. Sähköverkkoyhtiöt käyttävät vain pienen määrän erilaisia johdinpoikkipintoja, koska laajan valikoiman käyttö vaikeuttaisi sähköverkon suunnittelua, rakentamista, viankorjausta ja varaosien hallintaa.

3.3.3 Keskeytyskustannukset

Koko yhteiskunnan toiminta on vahvasti riippuvainen häiriöttömästä sähkön saannista. Sähkönjakelun keskeytykset aiheuttavat monenlaista haittaa sekä sähkönkäyttäjille että sähköverkkoyhtiölle. Sähkönjakelussa esiintyy odottamattomia keskeytyksiä (häiriökeskeytyksiä) ja suunniteltuja keskeytyksiä (työkeskeytyksiä). Odottamattomat keskeytykset aiheutuvat sähköverkon pysyvistä tai ohimenevistä vioista. Suunnitellut keskeytykset johtuvat verkon rakennustöistä, joista sähköverkkoyhtiöt tiedottavat asiakkaita etukäteen. [5, s. 77]

Odottamattomat keskeytykset voidaan jakaa pitkiin ja lyhyisiin vikakeskeytyksiin. Myös jännitekuopat voidaan luokitella odottamattomiin keskeytyksiin. Lyhyet vikakeskeytykset aiheutuvat ohimenevistä vioista ja kestävät enintään kolme minuuttia. Lyhyet

vikakeskeytykset poistuvat yleensä pika- tai aikajälleenkytkennällä. Pitkät vikakeskeytykset aiheutuvat pysyvistä vioista ja kestävät yli 3 minuuttia. Suurin osa sähkönkäyttäjien kokemista vioista johtuu KJ-verkon vioista. [5, s. 77]

Sähköverkko on lähtökohtaisesti suunniteltava siten, että siellä esiintyisi mahdollisimman vähän sähkönjakelun keskeytyksiä. Sähköverkon suunnittelussa ei voida kuitenkaan varautua kaikkiin mahdollisiin vikatilanteisiin, koska se nostaisi investointikustannuksia liian paljon. Sähköverkon käyttövarmuuden laiminlyönti voi johtaa siihen, että sähköverkossa esiintyy pitkiä sähkönjakelun keskeytyksiä, jotka aiheuttavat suuria kustannuksia sähköverkkoyhtiölle. [5, s. 78-79]

Sähkönjakelun keskeytykset aiheuttavat monenlaisia kustannuksia sähköverkkoyhtiölle:

- menetetyt siirtotulot toimittamatta jääneestä sähköstä
- keskeytyksestä aiheutunut haitta
- viankorjauskustannukset
- vakiokorvaukset

Menetetyt siirtotulot toimittamatta jääneestä sähköstä ovat pieniä verrattuna muihin kustannuksiin. Keskeytyksestä aiheutunut haitta (KAH) pienentää sähköverkkoyhtiön sallittua tuottoa. Asiaa tarkastellaan tarkemmin alaluvussa 3.9.3. Sähköverkkoyhtiöt maksavat viankorjauksesta palvelumaksuja urakoitsijoille. Palvelumaksut kertyvät viikapaikan etsinnästä, erotuskytkennöistä ja viankorjaustoimenpiteistä. Mikäli vika on rikkonut sähköverkkokomponentteja, syntyy myös materiaalikustannuksia. Jos vikapaikka sijaitsee syrjäisellä tai vaikeakulkuisella paikalla, vian korjaaminen on hitaampaa ja aiheuttaa enemmän kustannuksia. Myös pitkät erotinvälit hidastavat viankorjausta. Myrskyt ja lumikuormat voivat aiheuttaa paljon vikoja, jolloin joudutaan käyttämään enemmän viankorjaushenkilökuntaa. Keskeytyskustannuksiin sisältyy myös muita kustannuksia. Sähköverkkoyhtiö joutuu varautumaan myrskyihin tilaamalla riittävästi viankorjaushenkilöä varallaoloon. Se synnyttää kustannuksia, vaikka työkomennusta ei tulisi. Päälyllytettyjä avojohtoja pitää partioida joka kerta myrskyjen ja kovien tuulien jälkeen, jolloin johtoon kaatuneet puut havaitaan ja poistetaan. Talvella ilmajohdoista on poistettava jäätä ja tykkylunta.

Keskeytyskustannuksien tarkka määrittäminen on vaikeaa, koska kustannukset syntyvät monesta eri tekijästä. Lisäksi keskeytyskustannukset riippuvat sääilmiöistä, joiden ennustaminen on vaikeaa. Eri investointivaihtoehtojen keskeytyskustannuksia voidaan arvioida luotettavuuslaskennalla. Vian esiintymistiheyttä arvioidaan tilastollisella vikataajuudella. Vian kestoa arvioidaan tilastollisella kytkentäajalla ja korjausajalla. Vian keskeytyksestä aiheutuvia kustannuksia voidaan arvioida viankorjauksen yksikköhinnoin ja/tai KAH arvoilla. Viankorjauksen yksikköhinta voi perustua sähköverkkoyhtiön tilastoimiin kustannustietoihin tai urakoitsijoiden palveluhinnastoon. Luotettavuuslaskennan tulokset riippuvat oleellisesti käytettyjen parametrien tarkkuudesta. Luotetta-

vuuslaskennassa käytetyt parametrit voivat perustua sähköverkkoyhtiön omiin tilastotietoihin tai tutkimustuloksiin. [5, s. 44-45, 81-82]

3.3.4 Kunnossapitokustannukset

Sähköverkossa on paljon komponentteja, jotka vaativat säännöllistä huoltoa. Asianmukainen kunnossapito parantaa komponenttien elinikää ja varmistaa niiden luotettavan toiminnan. Kunnossapidosta syntyy kustannuksia, jotka on huomioitava sähköverkon suunnittelussa ja investointipäätöksissä. Sähköverkkoyhtiön on valittava sopiva kunnossapitostrategia eri verkon osiin ja komponentteihin. On päätettävä, mitkä ovat kunnonvalvontamenetelmät ja huoltotoimenpiteet ja kuinka säännöllisesti kuntotarkastuksia ja huoltotoimenpiteitä tehdään. Kunnossapidon laiminlyönti voi johtaa komponenttien ennen aikaiseen vaurioitumiseen, mikä kasvattaa elinkaarikustannuksia. Liian intensiivistä kunnossapitoa ei kannata soveltaa kaikkiin komponentteihin, koska se nostaisi kunnossapitokustannuksia kohtuuttomasti. [5, s. 228-230]

Kunnossapitomenetelmät voidaan jakaa korjaavaan ja ehkäisevään kunnossapitoon. Korjaavassa kunnossapidossa komponentteja ei huolleta ollenkaan tai erittäin vähän. Komponentteja käytetään vaurioitumiseen saakka, ja sen jälkeen ne korjataan tai korvataan uusilla komponenteilla. Korjaava kunnossapito soveltuu komponentteihin, jotka eivät tarvitse säännöllistä huoltoa ja ovat helposti korvattavissa. Lisäksi komponenttien vaurioituminen ei saa aiheuttaa laajaa sähkönjakelun keskeytystä. [5, s. 228-230]

Ehkäisevässä kunnossapidossa verkkokomponentteja huolletaan joko säännöllisin väliajoin, jota kutsutaan aikaperusteiseksi kunnossapidoksi, tai kuntotilan perusteella, jota kutsutaan kuntoperusteiseksi kunnossapidoksi. Ehkäisevää kunnossapitoa sovelletaan suurimmalle osalle sähköverkon komponenteille. Mitä kriittisempi komponentti on käyttövarmuuden kannalta, sitä enemmän panostetaan kuntotilan seurantaan ja huoltotoimenpiteisiin. [5, s. 228-230]

Monille verkkokomponenteille tehdään säännöllisiä kuntotarkistuksia, joiden yhteydessä suoritetaan tarvittavat huoltotoimenpiteet. Usein viat havaitaan pelkällä silmämääräisellä tarkistuksella. Komponentit, joihin kertyy likaa, puhdistetaan. Liikkuvat osat rasvataan. Vialliset komponentit korjataan tai korvataan uusilla. Samalla tarkistetaan, että merkinnät ovat oikein. Johtokatuja raivaus ja vierimetsän hoito ovat myös kunnossapitotoimenpiteitä. Kaapelit ovat lähes huoltovapaat. Niiden kuntoa voidaan tarkistaa osittaispurkausmittauksella. Taulukko 3.2 esittää tyypillisiä kunnossapitotoimenpiteitä.

Yleensä urakoitsijat suorittavat kuntotarkistukset ja huoltotoimenpiteet. Kunnossapitokustannuksia voidaan arvioida urakoitsijan palveluhinnaston perusteella. Kunnossapitokustannusten määrittämistä helpottaa se, että kunnossapitotoimenpiteet suoritetaan yleensä ennalta määrätyn kunnossapito-ohjelman mukaan.

Taulukko 3.2 Verkkokomponenttien kunnossapitotoimenpiteitä.

| Komponentti | Kunnossapitotoimenpiteet |
|-------------|--|
| Sähköasema | <ul style="list-style-type: none"> - päämuuntajan öljynvaihto - päämuuntajan perushuolto - releiden koestus - käämikytkimien tarkistus ja huolto - katkaisijoiden tarkistus ja huolto |
| Muuntamot | <ul style="list-style-type: none"> - puhdistus ja kasvillisuuden raivaus - katkaisijoiden puhdistus ja rasvaus - merkintöjen tarkistaminen - kiinteistömuuntamot: ilmastoinnin suodattimen vaihto |
| Ilmajohto | <ul style="list-style-type: none"> - pylväiden lahoisuustarkastukset - haruksien tukeminen - johtoerottimien puhdistus ja rasvaus - johtokadun raivaus - johtokadun reunan sahaus helikopterilla - vierimetsän hoito |
| Maakaapeli | <ul style="list-style-type: none"> - osittaispurkausmittauksilla voidaan tarkistaa kuntoa |

3.4 Keskijänniteverkon muoto

Kaupunkialueella ja taajamissa KJ-verkko on tyypillisesti silmukoitu maakaapeliverkko. Maakaapelia käytetään, koska sen tilantarve on ilmajohtoon verrattuna pieni. Maakaapelin rakennuskustannukset suhteessa sähkökuluttajien määrään ovat alhaiset, koska asiakastiheys on suuri. Vaikka KJ-verkko on silmukoitu, sitä käytetään säteittäisenä. Silmukoidun KJ-verkon käyttövarmuus on korkea, koska vika pystytään rajaamaan yhdelle erotinvälille. Maakaapeliverkon viankorjaus kestää kauemmin verrattuna avojohdtoon. Jakelumuuntajat sijoitetaan puistomuuntamoihin tai kiinteistömuuntamoihin. Puisto- ja kiinteistömuuntamot sisältävät keskijännitekojeiston, joka toimii maakaapeliverkon erotus- ja haaroituskohtana. [4, s. 29] [5, s. 13]

Haja-asutusalueen KJ-verkossa käytetään enimmäkseen avojohdtoa tai päällystettyä avojohdtoa. Maakaapelia käytetään vähemmän, koska haja-asutusalueella etäisyydet ovat pidemmät ja siten sen rakentamiskustannukset ovat sähkökuluttajia kohti korkeat. KJ-verkko on enimmäkseen säteittäinen ja sisältää vain joissakin paikoissa varayhteyksiä. Metsässä kulkevat ilmajohdot ovat vika-alttiita myrskyille ja lumikuormille. Ilmajohdon vianpaikantaminen ja viankorjaus on nopeampaa verrattuna maakaapeliin. [4, s. 29] [5, s. 13]

3.5 Keskijänniteverkon tekniset reunaehdot

Sähköjakeluverkon suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava lukuisia teknisiä reunaehtoja.

Johdojen ja muuntajien kuormitettavuus ei saa ylittyä. Johdon kuormitettavuus tarkoittaa johdon suurinta sallittua jatkuvaa kuormitusvirtaa tietyllä jännitteellä. Johdon kuor-

mitettavuus riippuu muun muassa asennustavasta ja ympäristön lämpötilasta. Liian suuri kuormitusvirta lämmittää johdinta liikaa ja sen seurauksena johdin voi vaurioitua ja aiheuttaa palovaaran. Rengasverkon suunnittelussa on huomioitava, että varasyöttötilanteissa kuormitusvirrat ovat suurempia. [5, s. 67-68, 77]

Sähkönjakeluverkon jännitteenalenema ei saa kasvaa liian suureksi. Standardin SFS-EN 50160 mukaan vaihejännitteen tulisi olla pienjänniteverkon (PJ-verkon) asiakkaan liityntäpisteessä normaalissa käyttötilanteessa 230 V +/-10 %. Sähkönjakeluverkon suunnittelussa jännitteenalenemaa tarkastellaan erikseen KJ-verkolle, jakelumuntajalle ja PJ-verkolle. Kaupunkialueella KJ-verkon suurin sallittu jännitteenalenema on tyypillisesti 2-3 % ja maaseutualueella 5 %. Häiriötilanteessa sallitaan suuremmat jännitteenalenemat, jotka ovat kaupunkialueella 5-7 % ja haja-asutusalueella 8-10 %. Avojohtojen mitoituksessa jännitteenalenema on kriittisempi mitoitus tekijä kuin kuormitettavuus. Kaapeleiden mitoituksessa asia on päinvastoin. [5, s. 68, 74-76]

Johtojen oikosulkukestoisuus ei saa ylittyä. Johdon oikosulkukestoisuus kertoo tietyn suuruisen oikosulkuvirran kestoajan, jonka johto kestää vaurioitumatta. Mikäli johdon oikosulkukestoisuus ylittyy, johto sulaa ja saattaa aiheuttaa vakavia vaaratilanteita ja vaurioittaa muita sähköverkon komponentteja. Oikosulkukestoisuuden tarkastelussa on huomioitava johdon lämpötila ennen vikatilannetta sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen vaikutus johdon lämpötilan nousuun. [5, s. 68]

KJ-verkon oikosulkuvian suojauksen on toimittava luotettavasti ja nopeasti. Oikosulkuviassa vioittunut johtolähtö on erotettava verkosta ennen kuin johtolähdön oikosulkukestoisuus ylittyy. Toisaalta suojaus ei saa havahtua verkon käyttötilanteen kuormituksesta. [5, s. 176-177]

KJ-verkon maasulkuvian suojauksen on toimittava luotettavasti ja nopeasti. Maasulkuvika aiheuttaa vikapaikalla kosketusjännitteen, mikä voi olla vaaraksi ihmisille tai eläimille. Kosketusjännitteen suuruus ja maasulkuvian kesto eivät saa ylittää sallittuja arvoja. Maasulkusuojauksen on vaikea tunnistaa maasulkuvikaa, jos vikaresistanssi on erityisen suuri. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi kuivan puun kaatuminen avojohdolle. [5, s. 182-189]

3.6 Kuormituksen mallintaminen

Monissa suunnittelutehtävissä on tarve laskea sähköverkossa esiintyviä huipputehoja, joita käytetään sähköverkon mitoituksen perusteena. Huipputehojen laskennan lähtöarvoiksi voidaan käyttää asiakkaiden vuosienergioita. VTJ mallintaa sähkönkäyttäjien sähkönkulutusta kuormituskäyrillä, jotka kuvaavat tietyn käyttäjäryhmän keskimääräistä sähkönkulutusta vuorokauden ja vuoden aikana. Tunti-indeksit kuvaavat käyttäjäryhmän tehonvaihtelua vuorokauden aikana. Tunti-indeksit laaditaan vain muutamille päiviille, jotka ovat tyypillisesti arkipäivä, lauantai ja pyhäpäivä eri vuodenajoille. Vuoden

aikana esiintyvää tehonvaihtelua kuvataan 2-viikkoindeksillä, jossa jokaiselle 2-viikkojaksolle osoitetaan tietty indeksiarvo. Kuormituskäyristä voidaan laskea käyttäjäryhmän suurin vuoden aikana esiintyvä huipputeho tai tietyn ajankohdan teho. [5, s. 52-58]

Yksittäisen sähkönkäyttäjän tuntikeskitehon arvio voidaan laskea yhtälöllä

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8760} \cdot \frac{Q_{ri}}{100} \cdot \frac{q_{ri}}{100} \quad (3.10)$$

jossa P_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohdan i tuntikeskiteho, E_r on käyttäjäryhmän r vuosienergia, Q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava 2-viikkoindeksi ja q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava tunti-indeksi [7, s. 13].

Sähkönkäyttäjien todellinen teho vaihtelee satunnaisesti ja voi olla keskitehoa suurempi tai pienempi. Usean samantyyppisen sähkönkäyttäjän tehonvaihtelu voidaan olettaa normaalijakautuneeksi, ja niiden yhteenlaskettu huipputeho voidaan laskea yhtälöllä

$$P_{\max} = n \cdot \bar{P} + z_a \cdot \sqrt{n} \cdot \sigma \quad (3.11)$$

jossa P_{\max} on huipputeho, n on sähkönkäyttäjien määrä, \bar{P} on yksittäisen sähkönkäyttäjän keskiteho, σ on hajonta ja z_a on ylitystodennäköisyyttä a vastaava normaalijakauman kerroin. Esimerkiksi, jos ylitystodennäköisyys on 5 %, z_a :n arvo on 1,65; jos ylitystodennäköisyys on 1 %, z_a :n arvo on 2,32. Mitä pienemmäksi ylitystodennäköisyys valitaan, sitä suuremmaksi muodostuu huipputeho. [5, s. 58-59]

Taulukko 3.3 Huipputehon tasoittuminen sähkönkäyttäjämäärän kasvaessa [5, s. 60].

| n | P_{\max} |
|-----|-----------------------|
| 1 | $2,2 \cdot \bar{P}$ |
| 2 | $3,6 \cdot \bar{P}$ |
| 10 | $13,6 \cdot \bar{P}$ |
| 100 | $111,5 \cdot \bar{P}$ |

Taulukko 3.3 esittää eri huipputehon arvoja eri sähkönkäyttäjien määriä, jossa hajonnaksi on oletettu $0,5 \cdot \bar{P}$ ja z_a :n arvoksi 2,32. Tuloksista nähdään, että hajonnalla on suuri vaikutus huipputehoon pienellä sähkönkäyttäjien määrällä. Sähkönkäyttäjän määrän kasvaessa hajonnan merkitys pienenee. Yksittäisen sähkönkäyttäjän huipputeho on yli kaksinkertainen keskitehoon verrattuna. Sadan sähkönkäyttäjän huipputeho on vain 11,5 % yhteenlaskettua keskitehoa suurempi. KJ-verkossa sähkönkäyttäjien määrä on suuri ja silloin hajonnalla on pienempi vaikutus huipputehoon. PJ-verkossa sähkönkäyttäjien määrä on pienempi, jolloin hajonnan vaikutus huipputehoon on otettava riittävästi huomioon suunnittelussa. [5, s. 59-60]

Kahden erityyppisen käyttäjäryhmän yhteenlaskettu huipputeho voidaan laskea yhtälöllä

$$P_{\max} = n_1 \cdot \bar{P}_1 + n_2 \cdot \bar{P}_2 + z_a \sqrt{n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2} \quad (3.12)$$

jossa P_{\max} on huipputeho, n_1 ja n_2 ovat sähkökäyttäjien määrät, \bar{P}_1 ja \bar{P}_2 ovat yksittäisten sähkökäyttäjien keskitehot ja σ_1 ja σ_2 ovat käyttäjäryhmien hajonnat. Kahden käyttäjäryhmän yhteenlaskettu huipputeho tasoittuu, koska käyttäjäryhmien vuorokautiset kuormituskäyrät ovat erilaisia. Kahden erilaisen kuormituskäyrän huippukohdat ajoittuvat yleensä eri ajankohtiin. Lisäksi suurempi käyttäjämäärä pienentää hajontaa. [5, s. 60-61]

Olemassa olevan sähköverkon huipputehoja voidaan laskea myös mitatuista tuntitehoista, jotka saadaan etäluettavista mittareista. Mitatuille huipputehoille on tehtävä lämpötilakorjaus, jotta niitä voidaan hyödyntää sähköverkon mitoituksessa. Kun suunnitellaan uudelle alueelle sähköverkkoa, on käytettävä kuormituskäyriä, koska mittaustietoa ei ole silloin käytettävissä.

3.7 Kuormituksen kasvu

Kuormituksen ennustaminen on tärkeä ja haastava tehtävä yleissuunnittelussa. Kuormitusten ennustamisen avulla voidaan päätellä, miten sähköverkkoa tulisi kehittää ja mitä investointeja on tehtävä, jotta sen siirtokapasiteetti vastaisi tulevaisuuden tarpeita. Kuormituksen kasvu on haja-asutusalueella monin paikoin pysähtynyt tai jopa negatiivista. Kasvavissa kaupungeissa vuosittainen kuormituksen kasvu voi olla erittäin suuri, noin 3-5 %. [5, s. 13]

Kuormitusten ennustamiseen lähtötiedoiksi saadaan VTJ:stä nykyiset asiakasmäärät sekä niiden vuosienenergiat ja huipputehot. Ennustamisen laatimisessa voidaan hyödyntää kuntien tai maakuntien tekemiä ennusteita väestönkehityksestä, asuntotuotantosuunnitelmista, työpaikkojen kehityksestä ja elinkeinoelämän kehityksestä. Lisäksi yleiskaavat ja asemakaavat antavat hyödyllistä tietoa yhdyskuntarakenteen kehittymisestä. On tärkeää tiedostaa, että pitkän tähtäimen ennusteet eivät ole koskaan täysin luotettavia. Kuntien laatimat ennusteet ovat usein liian optimistisia. Näiden lähteiden pohjalta voidaan laatia ennusteita rakennuskannan, asukasluvun tai työpaikkojen kehityksestä. Kuormitusten ennusteet laaditaan alueittain, jossa taajamissa aluejaoksi kelpaavat lähiöt ja haja-asutusalueella kuntarajat. Sähkökäyttäjät voidaan jakaa seuraaviin kuluttajaryhmiin:

1. kotitalous
2. maatalous
3. sähkölämmitys
4. jalostus
5. palvelu
6. loma-asutus [5, s. 90-91]

Teollisuusasiakkaat ja sähkölämmitystä käyttävät kotitalousasiakkaat vaikuttavat eniten kuormituksen kasvuun. Kuluttajien vuosienenergiat voidaan laskea asuntokohtaisilla, pinta-alakohtaisilla tai työpaikkakohtaisilla ominaiskulutuksilla. Vuosienenergiat muutetaan huipputehoiksi kuormitusmallien avulla tai jakamalla vuosienenergiat kuvitteellisilla huippukäyttöajoilla. Lopuksi huipputehot jaotellaan sähköasemiin ja johtolähtöihin. [5, s. 90-91]

3.8 Uudistunut sähkömarkkinalaki

Uudistunut sähkömarkkinalaki astui voimaan 1.9.2013. Se ohjaa sähköverkkoyhtiöitä parantamaan sähköverkon toimitusvarmuutta ja pienentämään suurhäiriöriskiä. Sähkömarkkinalain 51 § asettaa seuraavat enimmäispituudet myrskyn ja luomikuorman aiheuttamille sähkönjakelun keskeytyksille:

- asemakaava-alueella sähkönjakelun keskeytys ei saa ylittää 6 tuntia
- asemakaava-alueen ulkopuolella sähkönjakelun keskeytys ei saa ylittää 36 tuntia [8]

Edellä mainitut vaatimukset eivät koske saarella sijaitsevia sähkönkäyttöpaikkoja tai syrjäisellä alueella sijaitsevia vapaa-ajanasuntoja, joiden sähkönkulutus on erittäin pieni. Sähkömarkkinalain 119 § mukaan sähköverkon pitää täyttää edellä mainitut vaatimukset 50 % sähkönkäyttäjille 2019, 75 % sähkönkäyttäjille 2023 ja kaikille sähkönkäyttäjille 2028. Vapaa-ajan asuntoja ei lasketa välitavoitteisiin, mutta ne huomioidaan lopputilanteessa. [8]

Sähkömarkkinalain 52 § mukaan sähköverkkoyhtiöiden on laadittava sähköverkon kehittämissuunnitelma, joka sisältää tarvittavat toimenpiteet lain vaatiman toimitusvarmuustason saavuttamiseksi. EV hyväksyy kehittämissuunnitelman ja valvoo sen noudattamista. Lisäksi kehittämissuunnitelma on päivitettävä kahden vuoden välein. Sähköverkkoyhtiöillä on vapaus päättää toimenpiteistä itse. Yleisemmin käytetty toimenpide toimitusvarmuuden parantamiseksi on ilmajohtojen kaapelointi. [8]

Uudistunut sähkömarkkinalaki sisältää myös muita säädöksiä, jotka liittyvät sähkönjakelun keskeytyksiin ja häiriötilanteisiin:

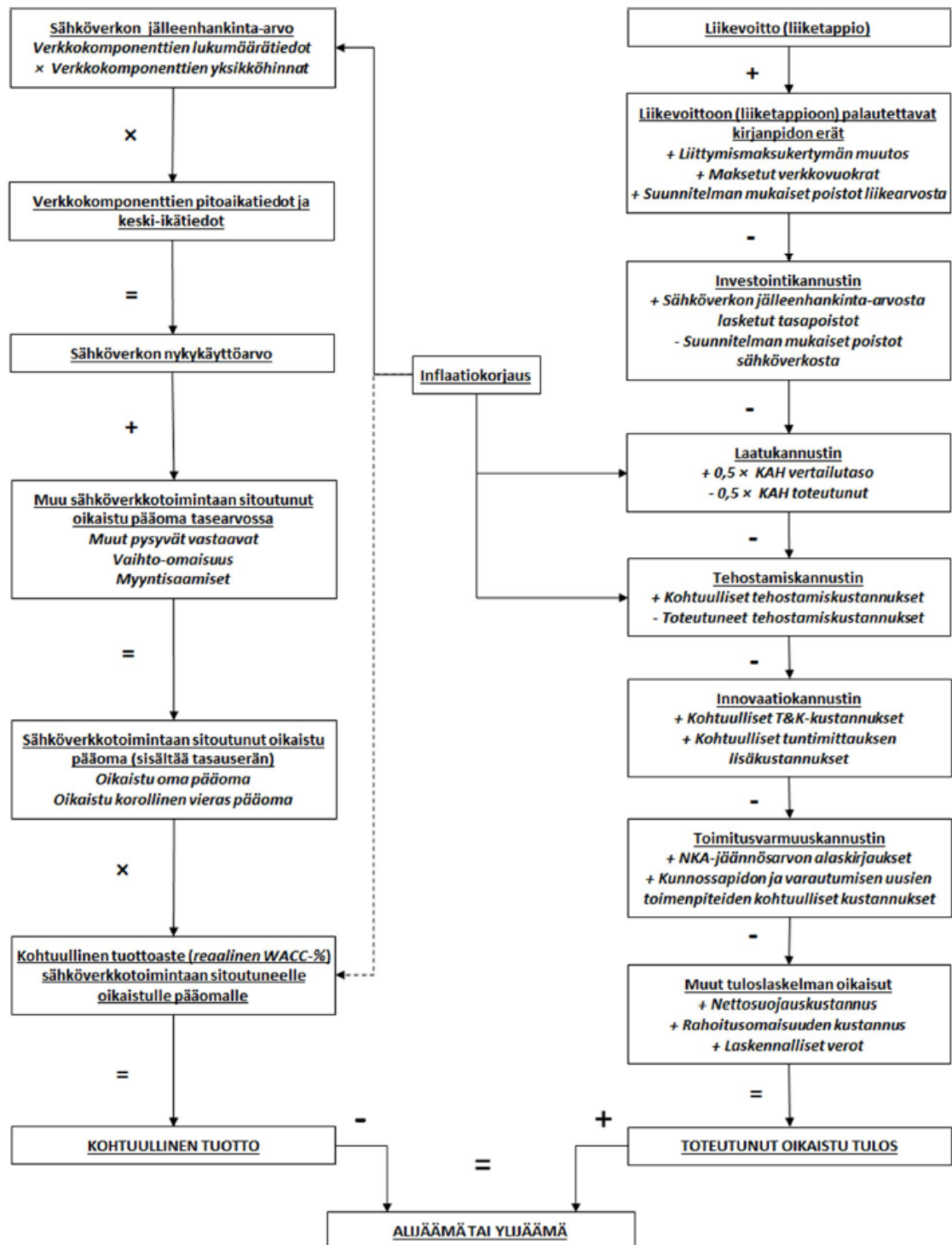
- Sähköverkkoyhtiön on annettava asiakkaalle tietoa liittymispisteen toimitusvarmuustasosta ja varautumisesta sähkönjakelun keskeytyksiin (Sähkömarkkinalaki 58 §)
- Sähköverkkoyhtiön on tiedotettava asiakkaita sähkönjakelun keskeytyksen kestosta ja laajuudesta, kun kyseessä on laajempi sähkönjakelun keskeytys (Sähkömarkkinalaki 59 §)

- Sähköverkkoyhtiön on varauduttava suurhäiriötilanteisiin ja laadittava varautumissuunnitelma, jonka tarkistaa Huoltovarmuuskeskus (Sähkömarkkinalaki 28 §)
- Sähköverkkoyhtiö on oikeutettu kaatamaan puita johtojen läheisyydestä ilman omistajan lupaa, jos ne voivat aiheuttaa sähkönjakelun keskeytyksen (Sähkömarkkinalaki 111 §)
- Asiakkaille maksettavia vakiokorvauksia on korotettu (Sähkömarkkinalaki 100 §) [8]

3.9 Energiaviraston valvontamenetelmä

Sähkömarkkinalain 24 § mukaan sähköverkkoyhtiöiden siirtohintojen pitää olla kohtuullisia. EV mittaa sähköverkkoyhtiön kohtuullisuutta valvontamenetelmän avulla, jota sovelletaan neljän vuoden pituisille valvontajaksoille. Valvontamenetelmä laskee vuosikohtaisen kohtuullisen tuoton ja toteutuneen oikaistun tuloksen. Näiden erotuksena saadaan vuosikohtaiset ali- tai ylijäämät, jotka lasketaan koko valvontajaksolta yhteen. Mikäli sähköverkkoyhtiön tuotto koko valvontajaksolta on ylijäämäinen, sähköverkkoyhtiö on velvollinen laskemaan siirtohintoja seuraavalla valvontajaksolla. Toisessa tapauksessa sähköverkkoyhtiö on oikeutettu nostamaan siirtohintoja, eli lisäämään tuottoa. Kuva 3.1 esittää kolmannelle valvontajaksolle, eli vuosille 2012-2015 sovellettavan valvontamenetelmän laskentamenetelmän.

Yleissuunnittelun on otettava EV:n valvontamenetelmä huomioon investointien suunnittelussa. Investoinnit kannattaa valita siten, että valvontamenetelmä mahdollistaisi niille mahdollisimman suuren tuoton. Haasteena pitkän tähtäimen suunnittelussa on se, että valvontamalli muuttuu jokaisen valvontajakson jälkeen ja sen tarkka sisältö on tiedossa vain valvontajakson loppuun asti.



Kuva 3.1 Kolmannelle valvontajaksolle (2012-2015) sovellettava valvontamenetelmä [9].

3.9.1 Kohtuullinen tuotto

Kohtuullinen tuotto antaa rajan sähköverkkoyhtiön sallitun tuoton suuruudelle. Kuvan 3.1 vasen puoli esittää kohtuullisen tuoton laskentamenetelmän. Sähköverkon jälleenhankinta-arvo (JHA) lasketaan EV:n yksikköhinnoilla. Sähköverkkoyhtiön verkkokom-

ponentit jaetaan EV:n määrittelemiin komponenttiryhmiin, ja komponenttiryhmien lukumäärät kerrotaan yksikköhinnoilla. Sähköverkon nykykäyttöarvo (NKA) lasketaan JHA:sta verkkokomponenttien keski-ikä tietojen ja pitoaikatietojen avulla. Sähköverkkotoimintaan sitoutunut oikaistu pääoma saadaan summaamalla NKA, taseen muut pysyvät vastaavat, vaihto-omaisuus ja myyntisaamiset. [9, s. 9-21]

Kohtuullinen tuotto saadaan kertomalla sähköverkkotoimintaan sitoutunut oikaistu pääoma kohtuullisella tuottoasteella. Kohtuullinen tuottoaste lasketaan valtion kymmenen vuoden obligaation korosta, joka toimii vertailuarvona riskittömälle korkokannalle. Tuottoasteen laskennassa valtion kymmenen vuoden obligaation koroksi valitaan edellisvuoden toukokuun keskiarvo. Kohtuullinen tuottoaste on noin puolitoista prosenttia korkeampi kuin valtion kymmenen vuoden obligaation korko. [9, s. 22-30]

Taulukko 3.4 esittää valtion 10 vuoden obligaation ja tuottoasteen kehityksen 3. valvontajaksolla. Tuloksista nähdään, että valtion obligaation arvo on ensimmäisen vuoden jälkeen lähes puoliintunut ja pysynyt siinä suurusluokassa jälkimmäiset kolme vuotta. Tämä heijastuu alhaiseen kohtuulliseen tuottoasteeseen.

Taulukko 3.4 Kohtuullinen tuottoaste 3. valvontajaksolla. Valtion 10 vuoden obligaation arvot ovat edellisvuoden toukokuun keskiarvoja [10]. Yhteisöverokannaksi on oletettu 20 %.

| Vuosi | Valtion 10 vuoden obligatio | Kohtuullinen tuottoaste |
|-------|-----------------------------|-------------------------|
| 2012 | 3,32 % | 4,65 % |
| 2013 | 1,82 % | 3,24 % |
| 2014 | 1,60 % | 3,03 % |
| 2015 | 1,69 % | 3,12 % |

Valvontamenetelmä kannustaa sähköverkkoyhtiötä investoimaan sähköverkkoon jatkuvasti, jotta NKA pysyisi vakaalla tasolla. Mikäli sähköverkkoyhtiö vähentää investointeja, pienenee NKA, ja se johtaa kohtuullisen tuoton laskuun. Tämä voi johtaa siihen kierteseen, että sähköverkkoyhtiöllä ei ole tarpeeksi omaa pääomaa investoimiseen. Lisäksi valvontamenetelmä kannustaa rakentamaan sähköverkko kustannustehokkaasti. Mikäli sähköverkon todelliset investointikustannukset ovat suurempia kuin EV:n yksikköhinnat, on investoinnista saatava tuotto pienempi.

3.9.2 Toteutunut oikaistu tulos

Toteutunut oikaistu tulos lasketaan tuloslaskelman liikevoitosta (liiketappiosta), johon tehdään oikaisuja. Kuvan 3.1 oikea puoli esittää toteutuneen oikaistun tuloksen laskentamenetelmän. Liikevoitosta vähennetään viiden kannustimen vaikutus, jotka ovat investointikannustin, laatukannustin, tehostamiskannustin, innovaatiokannustin ja toimitusvarmuuskannustin. Mitä enemmän kannustimet pienentävät toteutunutta oikaistua tulosta, sitä enemmän se kasvattaa sähköverkkoyhtiön sallittua tuottoa. Investointikannustin, laatukannustin ja tehostamiskannustin voivat myös kasvattaa toteutunutta oikaistu-

tua tulosta, jolloin ne pienentävät sähköverkkoyhtiön sallittua tuottoa. Kannustimet kuvataan seuraavaksi tarkemmin ja laatukannustin esitellään omassa alaluvussa.

Investointikannustin laskee sähköverkon JHA:sta lasketun tasapoistojen ja sähköverkon suunnitelman mukaisten poistojen erotuksen. Ensimmäinen arvo on laskennallinen arvo, joka kuvaa sähköverkon poistoja, jos niiden investointikustannukset olisivat yhtä suuret kuin EV:n yksikköhinnat. Jälkimmäinen arvo kuvaa tuloslaskelmassa käytettyjä sähköverkon poistoja. Investointikannustin kannustaa rakentamaan sähköverkkoa kustannustehokkaasti. Mikäli verkkokomponenttien investointikustannukset ylittävät EV:n yksikköhintatason, investointikannustin saa negatiivisen arvon ja pienentää sallittua tuottoa. [9, s. 37-39]

Tehostamiskannustin kannustaa sähköverkkoyhtiötä vähentämään KAH kustannuksia ja kontrolloitavissa olevia operatiivisia kustannuksia, joihin lasketaan

- Varastojen lisäys tai vähennys
- Henkilökustannukset
- Verkkovuokrat
- Vuokratulot
- Muut vieraat palvelut
- Sisäiset kustannukset
- Muut liiketoiminnan kustannukset
- Maksetut vakiokorvaukset [9, s. 48]

Tehostamiskannustin laskee kohtuullisten tehostamiskustannusten ja toteutuneiden tehostamiskustannusten erotuksen. Kohtuulliset tehostamiskustannukset toimivat vertailutasona ja sisältävät yleisen ja yrityskohtaisen tehostamistavoitteen. Toteutuneet tehostamiskustannukset lasketaan vuoden aikana syntyneistä KAH kustannusten puolikkaasta ja toteutuneista kontrolloitavista olevista operatiivisista kustannuksista. [9, s. 45-53]

Innovaatiokannustin kannustaa sähköverkkoyhtiötä harjoittamaan tutkimus- ja kehitystoimintaa. Innovaatiokannustimeen voidaan kirjata tutkimus- ja kehityskustannuksia, joiden summa saa olla enintään puoli prosenttia sähköverkkoyhtiön liikevaihdosta. Lisäksi innovaatiokannustin hyvittää jokaisesta käytössä olevasta etäluettavasta mittarista viisi euroa. [9, s. 60-62]

Toimitusvarmuuskannustin hyvittää sähköverkkoyhtiölle ennen aikaisesti purettavien verkkokomponenttien NKA:n, jos ne liittyvät toimitusvarmuutta parantaviin saneerauksiin. Lisäksi toimitusvarmuuskannustimeen voidaan sisällyttää kustannuksia tietyistä toimitusvarmuutta parantavista toimenpiteistä, kuten johtojen vierimetsän hoidosta tai viestintäjärjestelmien kehittämis- ja ylläpitokustannuksista. [9, s. 62-64]

3.9.3 Laatukannustin

Keskeytyksestä aiheutunut haitta (KAH) kuvaa asiakkaan kokemaa taloudellista haittaa, joka syntyy sähköjakelun odottamattomista ja suunnitelluista keskeytyksistä sekä pika- ja aikajälleenkytkennöistä. KAH pienentää sähköverkkoyhtiön sallittua tuottoa ja sen vaikutus huomioidaan laatu- ja tehostamiskannustimessa.

Odottamattomien keskeytysten KAH kustannus voidaan laskea yhtälöllä

$$K_{KAH_odott,k} = (t_{odott} \cdot P_{as} \cdot h_{E,odott} + n_{odott} \cdot P_{as} \cdot h_{W,odott}) \frac{KHI_{k-1}}{KHI_{2004}} \quad (3.13)$$

jossa $K_{KAH_odott,k}$ on odottamattomien keskeytysten KAH kustannus vuoden k rahanarvossa, t_{odott} on odottamattomien keskeytysten keskeytysaika, P_{as} on asiakkaiden keski-
kulutusteho, $h_{E,odott}$ on odottamattomien keskeytysten energiahinta, n_{odott} on odottamat-
tomien keskeytysten määrä, $h_{W,odott}$ on odottamattomien keskeytysten tehohinta, KHI_{k-1}
on kuluttajahintaindeksi vuonna $k-1$ ja KHI_{2004} on kuluttajahintaindeksi vuonna 2004.
Odottamattomien keskeytysten energia- ja tehohinnaksi valitaan taulukossa 3.5 olevat
parametrit. Yhtälöstä (3.13) on jätetty suunniteltujen keskeytysten sekä pika- ja aikajäl-
leenkytkentöjen vaikutus pois. Niiden KAH kustannukset lasketaan samalla periaatteel-
la kuin odottamattomien keskeytysten KAH kustannukset. Suunniteltujen keskeytysten
sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen energia- ja tehohinnat näkyvät taulukossa 3.5. KAH
kustannusten tarkempi laskenta, joka sisältää kaikki kustannuskomponentit, on esitetty
EV:n ohjeissa [9 s. 40-45] ja [11]. [9, s. 40-45]

Taulukko 3.5 KAH kustannusten laskentaan käytettävät hinnat vuoden 2005 rahanarvossa [9, s 41].

| Odottamaton keskeytys | | Suunniteltu keskeytys | | Aika- jälleen- kytkentä | Pika- jälleen- kytkentä |
|-----------------------|---------------|-----------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $h_{E,odott}$ | $h_{W,odott}$ | $h_{E,suun}$ | $h_{W,suun}$ | h_{AJK} | h_{PKJ} |
| 11 €/kWh | 1,1 €/kW | 6,8 €/kWh | 0,5 €/kW | 1,1 €/kW | 0,55 €/kW |

Laatukannustin laskee KAH vertailutason ja kuluvan vuoden KAH kustannusten ero-
tuksen. KAH vertailutaso lasketaan 2. valvontajakson (2008-2011) keskimääräisistä
KAH kustannuksista. Mikäli kuluvan vuoden KAH kustannukset ovat pienempiä kuin
vertailutaso, laatukannustin kasvattaa sallittua tuottoa. Toisessa tapauksessa sallittu
tuotto pienenee. Laatukannustin laskee vain puolet KAH kustannuksista, koska toinen
puoli huomioidaan tehostamiskannustimessa. [9, s. 40-45]

Laatukannustin ja tehostamiskannustin kannustavat sähköverkkoyhtiötä vähentämään
KAH kustannuksia, eli vähentämään sähköjakelun keskeytysten määrää ja niiden kes-
toaikoja. Sähköjakelun keskeytykset aiheuttavat etenkin kaupunkialueella suuria KAH
kustannuksia, koska asiakastiheys on siellä suuri.

4. YLEISSUUNNITTELUN NYKYTILANNE

Edellinen luku kertoi yleissuunnittelun teoriasta. Tässä luvussa esitellään OESJ:n yleissuunnittelun tehtävät, sidosryhmät ja toimintatavat. Lisäksi tämä luku esittelee OESJ:n sähköverkon suunnitteluprosessit.

4.1 OESJ:n organisaatio

OESJ:n organisaatio koostuu hallituksesta ja sen alaisuudessa toimivasta viidestä osastosta: Yleissuunnittelu, Jakelu, Siirtopalvelu, Verkkopalvelu ja kehitys sekä Tietojärjestelmät. OE -konserni on OESJ:n omistaja ja se valitsee hallituksen jäsenet. Hallitus luo pääsuuntaviivat OESJ:n toiminnalle ja tekee tärkeimmät päätökset.

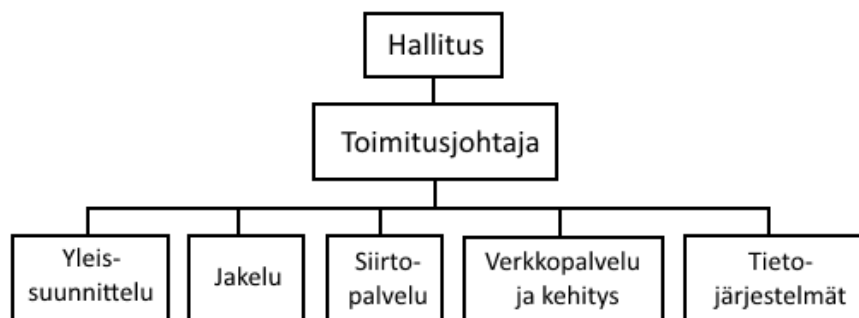
Yleissuunnittelu vastaa sähköverkon strategisesta suunnittelusta, jossa painopiste on suurjänniteverkon (SJ-verkon) ja KJ-verkon suunnittelussa. Jakelu -osaston tehtäviin kuuluvat KJ- ja PJ-verkon kohdesuunnittelu, maastosuunnittelu ja rakennuttaminen sekä kaapeleiden kartoitus ja sähkönjakeluverkon dokumentointi. Jakelu -osaston tehtäviä esitellään tarkemmin alaluvuissa 4.9, 4.10 ja 4.11.

Siirtopalvelu -osasto vastaa sähköverkon käytöstä. Se seuraa sähköverkon tilaa käyttökeskuksessa ja tekee sähköverkon kytkennät, jotka liittyvät joko vikatilanteisiin tai suunniteltuihin keskeytyksiin. Kauko-ohjattavat katkaisijat ja erottimet ohjataan käytönvalvontajärjestelmällä (KVJ:llä). Käyttökeskus antaa ohjeet sähköasentajille, jotka tekevät kytkennät käsinohjattaville erottimille. Siirtopalvelu -osaston tehtäviin kuuluvat lisäksi sähköasemien ja siirtojohtojen kohdesuunnittelu ja rakennuttaminen, SJ-, KJ- ja PJ-verkon kunnossapito, keskeytyksistä tiedottaminen ja keskeytysten tilastointi.

Verkkopalvelu ja kehitys -osasto tarjoaa teknistä asiakaspalvelua ja käsittelee sähköverkon liittymispyynnöt. Lisäksi se vastaa etäluettavien mittareiden toiminnasta ja mitaustiedon käsittelystä. Verkkopalvelu ja kehitys -osasto suunnittelee ja koordinoi etäluettavien mittareiden asennusta ja selvittää niihin liittyviä vikoja. Se välittää mittaustietoa sähkönmyyntiyhtiöille ja tekee taseselvityksiä. Lisäksi se tekee kehitystyötä, joka liittyy uuden teknologian käyttöönottoon.

Tietojärjestelmät -osasto vastaa tietojärjestelmien kokonaishallinnasta ja turvallisuudesta. Tietojärjestelmät -osasto ei vastaa yksittäisistä tietojärjestelmistä, vaan niistä vastaavat eri tietojärjestelmien pääkäyttäjiksi valitut henkilöt.

Suurin osa OESJ:n henkilökunnasta toimii asiantuntijatehtävissä, jotka liittyvät verkko-omaisuuden hallintaan ja käyttöön. OESJ tilaa verkon rakennustyöt, kunnossapitotyöt ja viankorjaustyöt OEU:lta ja ulkopuolisilta urakoitsijoilta. OE -konserni tarjoaa OESJ:lle taloushallinto-, toimistotyö-, IT- ja HR-palveluita. Kuva 4.1 esittää OESJ:n organisaation rakenteen.



Kuva 4.1 OESJ:n organisaatio.

4.2 Yleissuunnittelun tehtävät ja sidosryhmät

Yleissuunnittelun päätehtävät ovat sähköverkon strateginen suunnittelu ja yhtiön talouden suunnittelu. Sähköverkon strateginen suunnittelu painottuu SJ- ja KJ-verkkoon. Se on vahvasti sidoksissa kaupunkisuunnitteluun, jota ohjataan yleis- ja asemakaavoilla. Yleissuunnittelu laatii investointisuunnitelman, joka sisältää strategiset SJ- ja KJ-verkon investoinnit muutamaksi kymmeneksi vuodeksi. Yleissuunnittelu tekee paljon yhteistyötä yhtiön osastojen ja monien ulkopuolisten sidosryhmien kanssa, joita esitellään seuraavaksi tarkemmin.

Jakelu –osasto

Yleissuunnittelu tekee yleissuunnitelmat KJ-verkon uudisrakennus- ja saneerauskohteille ja määrittelee tekniset ja taloudelliset lähtötiedot kohdesuunnitelmille. Jakelu –osasto tekee näiden tietojen pohjalta kohdesuunnitelmat KJ- ja PJ-verkolle ja saattaa ne toteutukseen.

Siirtopalvelu –osasto

Siirtopalvelu -osasto tiedottaa yleissuunnittelua sähköverkon kuntotilasta ja saneeraustarpeista sekä raportoi tunnuslukuja ja tilastoja sähköverkon keskeytyksistä. Yleissuunnittelu suunnittelee sähköasemien ja siirtojohtojen uudis- ja saneerausinvestoinnit. Siirtopalvelu –osasto vastaa näiden hankkeiden toteutuksesta.

Verkkopalvelu ja Kehitys -osasto

Verkkopalvelu ja Kehitys –osasto raportoi yleissuunnittelulle tilastoja sähköverkon liit-
tyjämääristä ja energiankulutuksesta. Lisäksi se tekee yleissuunnittelun kanssa yhteis-
työtä liittyen kehityshankkeisiin.

Oulun Energia -konsernin taloushallinto

OE -konsernin taloushallinto vastaa OESJ:n kirjanpidosta. Yleissuunnittelu raportoi
taloushallinnolle tietoa ja tunnuslukuja OESJ:n taloudesta.

Oulun kaupunki (yleis- ja asemakaavoitus)

Yleissuunnittelu tekee Oulun kaupungin kanssa yhteistyötä liittyen yleis- ja asemakaa-
voitukseen. Yleiskaava on yleispiirteinen suunnitelma laajemman alueen maankäytöstä
ja yhdyskuntarakentamisesta. Yleiskaava on voimassa 20 vuotta ja päivitetään 10 vuo-
den välein. Yleissuunnittelu varaa sähköasemien ja 110 kV:n johtokatuja paikat yleis-
kaavaan. Asemakaava on yksityiskohtainen suunnitelma pienemmän alueen maankäy-
töstä ja pohjautuu yleiskaavaan. Yleissuunnittelu varaa muuntamoiden paikat asema-
kaavoihin.

Fingrid

Yleissuunnittelu tiedottaa Fingridiä sähköasemien ja siirtojohtojen rakennushankkeista
ja sähköverkon kuormitusennusteita.

Energiavirasto

Yleissuunnittelu raportoi EV:lle lukuisia teknisiä ja taloudellisia tunnuslukuja ja tilasto-
ja. EV tiedottaa yleissuunnittelua uusista määräyksistä ja päätöksistä.

Verkkotietojärjestelmä

Yleissuunnittelu on VTJ:n pääkäyttäjä ja vastaa sen ylläpidosta ja kehittämisestä. Yleis-
suunnittelu on yhteyksissä VTJ:n IT tukeen kun järjestelmään tehdään päivityksiä tai
kun siinä esiintyy vikoja.

4.3 OESJ:n investoinnit

OESJ investoi vuosittain noin 11-12 M€. Taulukko 4.1 esittää eri investointiryhmien
investointimäärät jaoteltuna vuosille 2014-2019. Luvut ovat vuodelta 2014 toteutumia
ja muilta vuosilta ennusteita. OESJ pyrkii pitämään vuosittaisen kokonaisinvestointi-
määrän tasaisena. Tasainen investointitahti takaa sen, että sähköverkon toiminta pysyy
luotettavalla tasolla ja ettei sähköverkon NKA laske, mikä pienentäisi sallittua tuottoa.

Siirtoverkon investointimäärä vaihtelee yhden ja kolmen M€:n välillä. Vaihtelu johtuu siitä, että sähköasemien uudis- ja saneerausinvestoinnit jakautuvat epätasaisesti eri vuosille. Jakeluverkolle varattu investointimäärä on 7,5 M€, ja se pysyy yhtä vuotta lukuun ottamatta samansuuruisena. Noin kolmasosa siitä määrästä kohdistuu uudisinvestointeihin, eli uusien asemakaava-alueiden sähköistämiseen. Noin kaksi kolmasosaa siitä määrästä kohdistuu saneerausinvestointeihin, joissa ikääntynyttä tai huonossa kunnossa olevaa sähköverkkoa saneerataan. Loput OESJ:n investoinneista kohdistuvat kuluttajamittalaitteisiin ja muut –ryhmään.

Taulukko 4.1 OESJ:n investoinnit k€.

| Investointiryhmä | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Siirtoverkko (SJ-verkko) | 2 000 | 1 200 | 2 500 | 1 200 | 3 000 | 3 000 |
| Jakeluverkko (KJ- ja PJ-verkko) | 7 500 | 7 500 | 7 000 | 7 500 | 7 500 | 7 500 |
| Kuluttajamittalaitteet | 1 500 | 1 500 | 1 500 | 1 500 | 1 500 | 1 500 |
| Muut | 700 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Summa | 11 700 | 10 600 | 11 400 | 10 600 | 12 400 | 12 400 |

4.4 Investointisuunnitelma

Yleissuunnittelu suunnittelee OESJ:n investoinnit pitkälle tulevaisuuteen ja ylläpitää investointisuunnitelmaa. Investointisuunnitelma sisältää eri investointiryhmille varatut investointimäärät jaoteltuna vuosiin, eli samat tiedot, jotka näkyvät taulukossa 4.1. Lisäksi investointisuunnitelma sisältää tietoa yksittäisistä investoinneista. Investointisuunnitelma voidaan jakaa karkeasti pitkän aikavälin jaksoon, joka ulottuu 10-20 vuotta tulevaisuuteen, ja lyhyen aikavälin jaksoon, joka ulottuu 0-10 vuotta tulevaisuuteen.

Investointisuunnitelma sisältää pitkältä aikaväliltä siirtoverkon investoinnit jaoteltuna vuosiin, eli sähköasemien ja siirtojohtojen uudis- ja saneerausinvestoinnit. Sähköasemien ja siirtojohtojen uudisinvestoinnit on tiedettävä 10-20 vuotta ennen niiden rakentamista, jotta niille voidaan varata paikat yleiskaavaan. Investointisuunnitelma sisältää pitkältä aikaväliltä jakeluverkosta vain investointimäärät, mutta ei tietoa yksittäisistä investoinneista.

Investointisuunnitelma sisältää lyhyeltä aikaväliltä siirto- ja jakeluverkon investoinnit. Jakeluverkon uudisinvestoinnit ovat asemakaavahankkeita, joiden rakentamisaikataulusta päättää Oulun kaupunki. Investointisuunnitelma sisältää vain joitakin jakeluverkon saneerauskohteita. Saneerauskohteet pyritään toteuttamaan yhteishankkeina muiden kunnallistekniikan toimijoiden kanssa, ja sen tähden niiden tarkka aikatauluttaminen on vaikeampaa. Yleissuunnittelu laskee siirto- ja jakeluverkon investointikustannukset EV:n yksikköhinnoilla.

4.5 Budjetti

Yleissuunnittelu laatii OESJ:n budjetin, joka koostuu tulosbudjetista ja investointibudjetista. Tulosbudjetti vastaa tilinpäätöksen tuloslaskelmaa. OESJ:n osastojen päälliköt laativat osastokohtaiset tulosbudjetit, joista yleissuunnittelu kokoaa yhteisen tulosbudjetin. Sähkön siirtotulot ovat tulosbudjetin suurin tuottoerä. Suurimmat kuluerät ovat häviösähkön osto, kantaverkon sähkönsiirtokorvaukset, palvelujen ostot, palkkakulut, muut kulut ja poistot.

Investointibudjetissa päätetään investointimäärät, eli budjetit, eri investointiryhmille. Investointibudjetissa ei määritellä investointiryhmien sisältöä. Se tehdään rakennusohjelmassa, josta kertoo seuraava alaluku. OESJ:n hallitus hyväksyy tulos- ja investointibudjetin.

4.6 Rakennusohjelma

Rakennusohjelmassa päätetään siirto- ja jakeluverkon rakennustöistä, jotka on tarkoitus toteuttaa vuoden aikana. Rakennusohjelma laaditaan kahdessa osassa; ensimmäinen osa laaditaan edellisen vuoden lopussa ja toinen osa kuluvaan vuoteen kesällä. Jakelu – osaston päällikkö laatii rakennusohjelman yhdessä kohdesuunnittelun ja yleissuunnittelun kanssa. Kohdesuunnittelijat laskevat rakennustöiden investointikustannukset EV:n yksikköhinnoilla. Yleissuunnittelu antaa ehdotuksia rakennusohjelman sisältöön. Rakennusohjelman sisältöön sallitaan muutoksia, mutta sen budjetti ei saa ylittyä. OESJ:n hallitus hyväksyy rakennusohjelman.

4.7 Toimitusvarmuusinvestoinnit

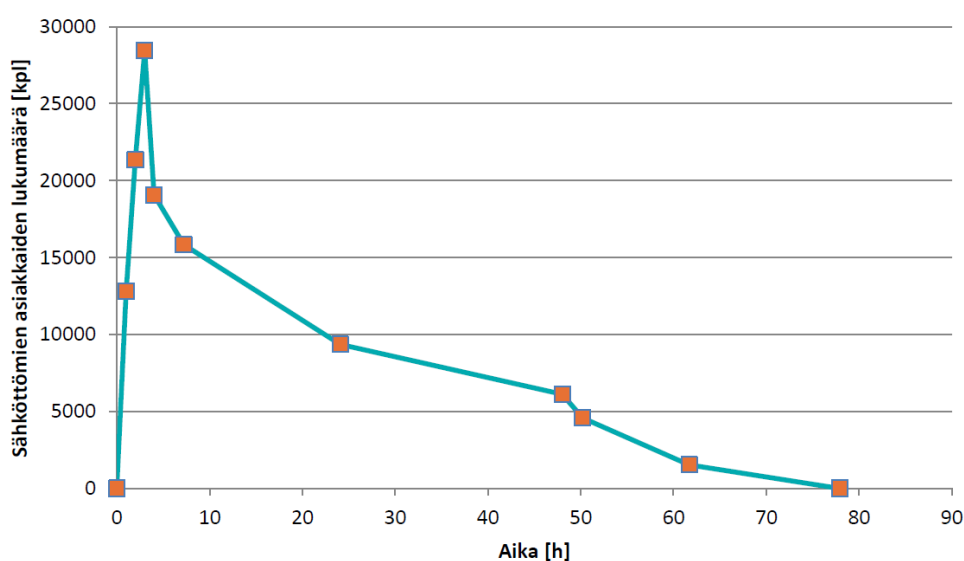
Yleissuunnittelu teki kesällä 2014 selvityksen, miten OESJ:n sähköverkkoa tulisi kehittää, jotta se täyttäisi Sähkömarkkinalain 51 § toimitusvarmuusvaatimukset. Selvityksen perusteella laadittiin investointiohjelma, joka sisältää toimitusvarmuutta parantavat investoinnit vuosille 2014-2028.

Selvityksessä mallinnettiin suurhäiriön vaikutukset OESJ:n sähköverkolle. Siinä oletetaan, että kaikki KJ- ja PJ-verkon ilmajohdot, jotka sijaitsevat metsässä tai tien varrella, tuhoutuvat myrskyn vaikutuksesta. Maakaapelit ja pellolla sijaitsevat ilmajohdot määritellään säävarmaksi verkoksi, ja niiden oletetaan pysyvän toimintakykyisenä. OESJ:n sähköverkossa oli selvityksen ajanhetkellä yli 300 kilometriä suurhäiriölle altista KJ-verkkoa.

Kuva 4.2 esittää sähköttömien asiakkaiden kehityksen mallinnetun suurhäiriön aikana. Sähköttömien asiakkaiden määrä saavuttaa huippulukeman 3 tunnin jälkeen, jolloin 28 500 asiakasta on vailla sähköä. Seuraavan tunnin aikana tehdään sähköverkon kyt-

kennät kauko-ohjattaville ja käsinohjattaville erottimille, joiden ansiosta sähköt saadaan kytkettyä noin 9 400 asiakkaalle.

Seuraavaksi viankorjaushenkilökunta, joka koostuu 32 sähköasentajasta, aloittaa viankorjaustoimenpiteet. Viankorjaus etenee siten, että ensiksi korjataan KJ-verkon viat ja sen jälkeen PJ-verkon viat. KJ- ja PJ-verkon vikamäärä oletetaan olevan viisinkertaisesti normaaleihin vikataajuuksiin verrattuna (liite B). Viankorjauksen alkamishetkellä KJ- ja PJ-verkon vikamäärä on 285. Noin 79 tunnin jälkeen sähköt saadaan palautettua viimeisille asiakkaille. Tarkastelu osoitti, että Sähkömarkkinalain enimmäispituudet sähköjakelun keskeytyksille, jotka ovat 6 tuntia asemakaava-alueella ja 36 tuntia haja-asutusalueella, ylittyvät alle 8 000 asiakkaalle.



Kuva 4.2 Sähköttömien asiakkaiden kehitys mallinnetussa suurhäiriötilanteessa.

OESJ:n sähköverkon toimitusvarmuuden kehittämiseksi laadittiin strategia, jota havainnollistaa kuva 4.3. Sähköverkon toimitusvarmuutta parannetaan kaapeloidamalla metsässä ja tien varrella kulkevaa ilmajohtoa. Ensiksi toimenpiteet kohdistetaan taajamiin, jossa asiakastiheys on suuri ja sallittu keskeytysaika on pienempi. Taajamia syöttävät johdot sekä taajamissa olevat johdot kaapeloidaan. Seuraavaksi toimenpiteet kohdistetaan haja-asutusalueelle. Ensiksi kaapeloidaan haja-asutusalueen runkojohdot, koska runkojohtojen vioilla on suuri vaikutusalue. Seuraavaksi kaapeloidaan kriittisimmät säteittäisjohdot, joiden valintaan vaikuttavat haarajohtojen asiakasmäärät sekä sijainti ja rakenne. Lopuksi valitaan saneerauskohteita hajautetusti.

Selvityksessä laskettiin, että asemakaava-alueella saa esiintyä korkeintaan 25 KJ- ja PJ-verkon vikaa ja haja-asutusalueella 125 KJ- ja PJ-verkon vikaa, jotta Sähkömarkkinalain edellyttämät keskeytysajat eivät ylitä käytössä olevilla viankorjausresursseilla. Tämä edellyttää, että asemakaava-alueella saneerataan noin 30 km KJ-verkkoa säävarmaksi ja haja-asutusalueella noin 115 km. Lisäksi PJ-verkkoa on saneerattava asemakaava-alueella ja haja-asutusalueella yhteensä noin 220 km. Lisättävä säävarman KJ-verkon

pituus jaetaan ilmajohtolähdöille suhteessa niiden laskennalliseen vuosittaiseen vikamäärään.



Kuva 4.3 Kehityssuunnitelman strategia.

Saneerattaville johtolähdöille lasketaan kaksi tunnuslukua. Ensimmäinen tunnusluku on investointikustannus jaettuna asiakasmäärällä. Toinen tunnusluku on kohteiden KAH kustannus mallinnetun suurhäiriön aikana. Näiden tunnuslukujen perusteella kohteet jaetaan tärkeysjärjestykseen, eli aikataulutetaan.

Lopullinen investointisuunnitelma sisältää johtolähdöt ja niille lisättävän säävarman KJ-verkon pituuden. Johtolähdöille on laskettu rakennettavien puistomuuntamoiden määrät ja saneerattavan PJ-verkon pituus yksinkertaistetuilla oletuksilla. Johtolähtöjen investointikustannus on laskettu KJ- ja PJ-verkolle EV:n vuoden 2014 yksikköhinnoilla. Investoinnit on aikataulutettu vuosille 2014-2028. Lisättävän säävarman KJ-verkon yhteenlaskettu pituus on 184 km ja PJ-verkon pituus 235 km. Taulukko 4.2 esittää KJ- ja PJ-verkon tavoiteltavat kaapelointiasteet investointisuunnitelman ajanjaksolle.

Selvityksessä oletettiin, että maakaapeloiminen on ainoa tekniikka toimitusvarmuuden saavuttamiseksi. Muita vaihtoehtoja ovat ilmajohdon siirtäminen tien varteen sekä johdotkatujen raivaaminen ja vierimetsän hoito. Siten osa investoinneista voidaan toteuttaa eri verkostotekniikoilla tai karsia investointisuunnitelmasta pois.

Taulukko 4.2 Tavoiteltavat kaapelointiasteet vuoden alussa.

| Vuosi | KJ-verkko | PJ-verkko |
|-------|-----------|-----------|
| 2015 | 61 % | 84 % |
| 2020 | 71 % | 86 % |
| 2024 | 74 % | 88 % |
| 2029 | 79 % | 91 % |

4.8 Energiaviraston valvontamenetelmä

EV julkaisee kotisivuillaan Excel-sovelluksen, jolla voi laskea valvontamenetelmään liittyviä laskuja. Excel-sovellukseen syötetään lähtöarvot, joista se laskee eri kannustimien arvot sekä ali/ylijäämän. Yleissuunnittelu päivittää sovellukseen syötettäviä lähtöarvoja jatkuvasti, ja pyrkii sovelluksen avulla arvioimaan, onko tarvetta muuttaa siirtohintoja.

4.9 Jakeluverkon uudisrakennuskohteen suunnitteluprosessi

Jakeluverkon uudisrakennuskohteet tai uudisinvestoinnit liittyvät uusien asemakaava-alueiden sähköverkon rakentamiseen. Oulun kaupunki tiedottaa yleissuunnittelua uusista asemakaavahankkeista ja määrittelee suunnittelu- ja rakentamisaikataulun.

Asemakaavan suunnittelua johtaa yleensä Oulun kaupungin valitsema arkkitehtitoimisto. Yleissuunnittelu osallistuu asemakaavan suunnittelupalaveriin yhdessä muiden kunnallistekniikan toimijoiden kanssa. Asemakaava-alueen sähköverkkoa suunnitellaan yhdessä muun kunnallistekniikan kanssa, johon kuuluvat tiet, viemäriputket, vesijohdot, kaukolämpöputket ja tietoliikennekaapelit.

Yleissuunnittelu tekee asemakaava-alueen KJ-verkosta sähköisen suunnitelman VTJ:ssä, jota voidaan kutsua myös asemakaava-alueen yleissuunnitelmaksi. Asemakaava-alueen sähköverkon suunnittelussa ei ole tarvetta vertailla eri verkostotekniikoita, koska asemakaava-alueen sähköverkon perusrakenne on aina sama. Yleissuunnittelu laskee asemakaava-alueen sähkönkulutuksen ja mitoittaa tämän perusteella muuntamot. Yleissuunnittelu varaa muuntamoiden paikat asemakaavaan. Lisäksi yleissuunnittelu tekee alustavan suunnitelman KJ-verkon kaapelireitistä, joiden tarkka sijainti tarkentuu vasta rakennusvaiheessa. Yleissuunnittelu pyrkii suunnittelemaan sähköverkkoa siten, että muuntamoiden määrä sekä KJ- ja PJ-verkon kaapelireitin pituus olisi mahdollisimman pieni. Yleissuunnittelu tekee alustavan rakennuskustannusarvion KJ- ja PJ-verkolle EV:n yksikköhinnoilla, joiden summa kirjataan asemakaavan selostukseen. Yleissuunnittelu laskee KJ-verkon rakennuskustannukset verkkokomponenteista, jotka sisältyvät sähköiseen suunnitelmaan. Yleissuunnittelu ei tee PJ-verkosta sähköistä suunnitelmaa, mutta laskee PJ-verkon rakennuskustannukset yksinkertaisilla oletuksilla.

Seuraavaksi asemakaava siirtyy rakennusvaiheeseen, johon osallistuvat Jakelu –osaston kohdesuunnittelu, rakennuttaminen, kartoitus ja dokumentointi. Asemakaava-alueen kunnallistekniikan rakentamista johtaa yleensä Oulun kaupungin valitsema pääurakoitsija. Kohdesuunnittelijat tekevät kohdesuunnitelmat, eli yksityiskohtaiset suunnitelmat, KJ- ja PJ-verkolle. Kaapelit, muuntamot ja jakokaapit sekä muu asemakaava-alueelle rakennettava infrastruktuuri merkitään yhteisjohtokarttaan. Se toimii samalla kaapeleiden, muuntamoiden ja jakokaappien sijoitussopimuksena. Kohdesuunnittelijat laskevat kohdesuunnitelmien rakennuskustannusarviot kahdessa vaiheessa. Kun rakennusohjel-

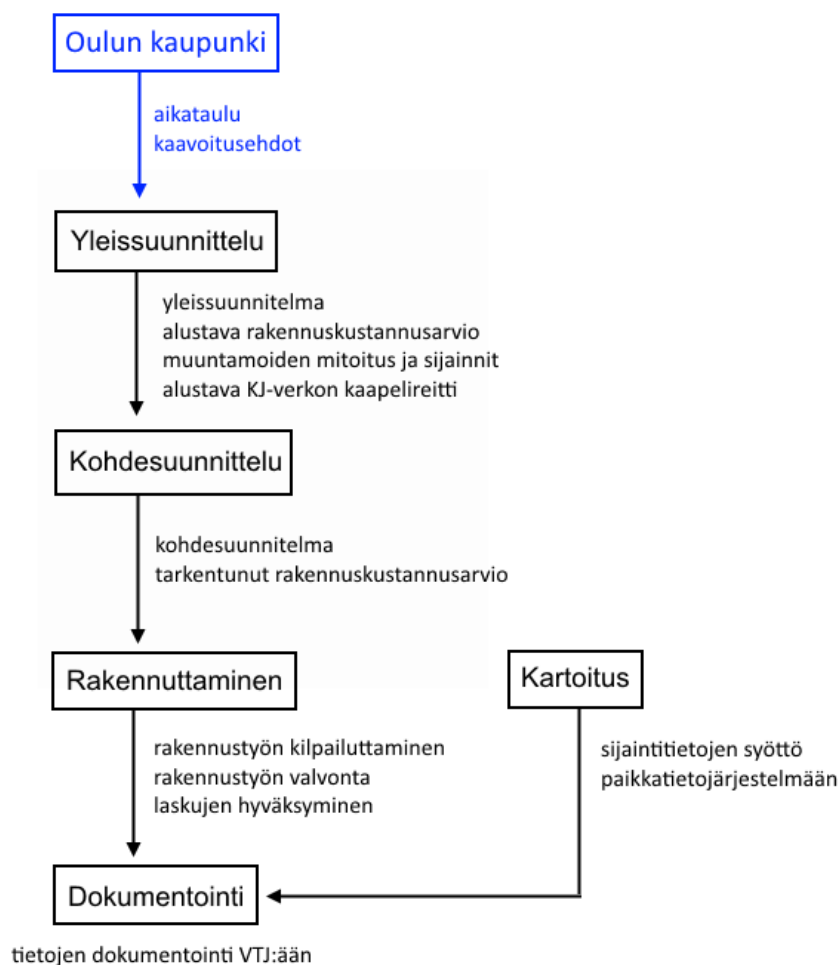
ma laaditaan, kohdesuunnittelijat laskevat alustavan rakennuskustannusarvion KJ- ja PJ-verkolle EV:n yksikköhinnoilla. Kun kohdesuunnittelijat perustavat kohdesuunnitelmat rakennuttamisjärjestelmään, he laskevat tarkentuneet rakennuskustannusarviot urakoitsijan yksikköhintalistan perusteella.

Rakennuttajat kilpailuttavat ja tilaavat rakennustyön urakoitsijalta. He valvovat rakennustyön edistymistä, tekevät työmaalla lopputarkastuksen ja hyväksyvät laskut. Mikäli he havaitsevat lopputarkastuksessa puutteita, he ilmoittavat asiasta urakoitsijalle ja tekevät myöhemmin uuden tarkastuksen.

Kartoittajat merkitsevät ennen rakennustyön alkamista muuntamoiden ja jakokaappien paikat maastoon. Rakennusvaiheessa he kartoittavat kaapeleiden, jakokaappien ja muuntamoiden sijainnit ja syöttävät ne paikkatietojärjestelmään.

Dokumentoijat digitoivat asemakaava-alueen sähköverkon VTJ:ään kahdessa vaiheessa. Aluksi he digitoivat alustavan suunnitelman asemakaava-alueen sähköverkosta, joka perustuu kohdesuunnitelmaan. Rakennustöiden päättyessä he päivittävät tiedot urakoitsijoiden antamien loppukuvien perusteella. Dokumentoijat hyödyntävät lisäksi paikkatietojärjestelmässä olevia verkkokomponenttien sijaintitietoja.

Maastosuunnittelijat eivät osallistu asemakaava-alueen suunnitteluprosessiin, koska siinä ei ole tarvetta tehdä sijoitussopimuksia rakennettavasta sähköverkosta. Jos uutta sähköverkkoa rakennetaan asemakaava-alueen ulkopuolella, maastosuunnittelijat tekevät maanomistajien kanssa sijoitussopimukset rakennettavasta sähköverkosta. Kuva 4.4 havainnollistaa asemakaava-alueen sähköverkon suunnitteluprosessia. Nuolet kuvaavat toimenpiteitä ja tietovirtoja.



Kuva 4.4 Asemakaava-alueen sähköverkon suunnitteluprosessi.

4.10 Jakeluverkon saneerauskohteen suunnitteluprosessi

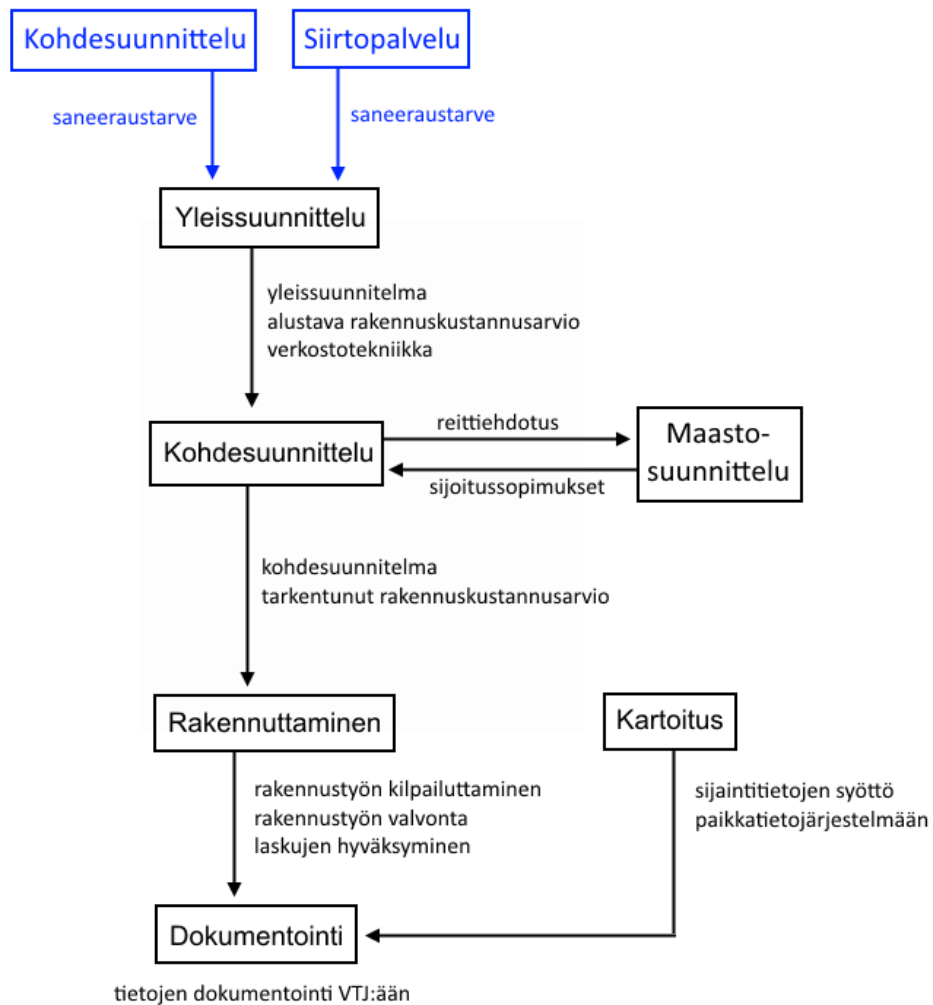
Jakeluverkkoa saneerataan ikääntymisen, huonon kunnon tai toimitusvarmuuden parantamisen tähden. Kohdesuunnittelu ja Siirtopalvelu –osasto tiedottavat yleissuunnittelua jakeluverkon laajemmista saneeraustarpeista. Yleissuunnittelu ei käsittele pienempiä saneerauskohteita, vaan ne valitaan suoraan rakennusohjelmaan. Lisäksi yleissuunnittelu selvittää itse saneerauskohteita sähköverkon nykytila-analyysin perusteella.

Yleissuunnittelu tekee saneerauskohteen KJ-verkosta sähköisen suunnitelman VTJ:ssä, jota voidaan kutsua saneerauskohteen yleissuunnitelmaksi. Jos saneerauskohde sijaitsee kaupunkialueella, yleissuunnittelu ei yleensä tarkastele eri verkostotekniikoita, koska kaupunkialueella sähköverkon perusrakenne on aina sama. Yleissuunnittelu ei silloin myöskään laske saneerauskohteen rakennuskustannuksia. Jos saneerauskohde sijaitsee haja-asutusalueella, yleissuunnittelu tekee tarkastelun useammalle vaihtoehdolle ja pyrkii löytämään optimaalisimman teknis-taloudellisen verkostotekniikan. Yleissuunnittelu laskee eri vaihtoehtojen rakennuskustannukset KJ-verkolle EV:n yksikköhinnoilla.

Kohdesuunnittelijat tekevät saneerauskohteen kohdesuunnitelmat KJ- ja PJ-verkolle, joka pohjautuu yleissuunnitelmaan. Kohdesuunnittelijat antavat maastosuunnittelijoille ehdotuksen kaapelien ja johtojen kulkureitistä sekä muuntamoiden ja jakokaappien sijainnista. Maastosuunnittelijat selvittävät niiden tarkat kulkureitit ja sijainnit maastossa ja tekevät niistä sijoitussopimukset maanomistajien kanssa. Mikäli maanomistajat eivät anna hyväksyntää sähköverkon rakentamiselle omistamalleen alueelle, kohdesuunnittelijat ja maastosuunnittelijat pyrkivät löytämään vaihtoehtoisen kulkureitin sähköverkolle. Maastosuunnittelijat merkitsevät ennen rakennustyön alkamista muuntamoiden ja jakokaappien paikat maastoon. Kohdesuunnittelijat laskevat kohdesuunnitelmien rakennuskustannusarviot kahdessa vaiheessa. Kun rakennusohjelma laaditaan, he laskevat alustavan rakennuskustannusarvion PJ- ja KJ-verkolle EV:n yksikköhinnoilla. Kun he perustavat kohdesuunnitelmat rakennuttamisjärjestelmään, he laskevat tarkentuneen rakennuskustannusarvion urakoitsijan yksikköhintalistan perusteella.

Kartoittajat kartoittavat kaapeleiden, muuntamoiden ja jakokaappien sijainnit rakennusvaiheessa ja syöttävät tiedot paikkatietojärjestelmään. Rakennuttajien ja dokumentoijien tehtävät ovat samat kuin uudisrakennuskohteen suunnitteluprosessissa.

Saneeraushankkeet pyritään toteuttamaan yhteishankkeina muiden kunnallistekniikan toimijoiden kanssa, koska silloin saadaan maanrakennustyöt jaettua kaikkien toimijoiden kesken. Saneeraushankkeiden toteutus voi joskus viivästyä suunnitellusta aikataulusta huomattavasti, koska sijoituslupien saaminen maanomistajilta voi kestää kauan. Nämä tekijät vaikeuttavat saneerauskohteiden suunnittelua ja aikatauluttamista. Kuva 4.5 havainnollistaa jakeluverkon saneerauskohteen suunnitteluprosessia. Nuolet kuvaavat toimenpiteitä ja tietovirtoja.



Kuva 4.5 Jakeluverkon saneerauskohteen suunnitteluprosessi.

4.11 Siirtoverkon suunnitteluprosessi

Yleissuunnittelu vastaa siirtoverkon yleissuunnittelusta, johon kuuluvat sähköasemat ja siirtojohdot. Siirtoverkon suunnitteluajaväli on erittäin pitkä, sillä uusien sähköasemien paikat ja siirtoverkon johtokadut on varattava yleiskaavaan 10-20 vuotta ennen niiden rakentamista.

Yleissuunnittelu tekee rakennettaville ja saneerattaville sähköasemille ja siirtojohdoille päämitoituksen ja määrittelee aikataulun. Uusien siirtojohtojen rakentamistarve määräytyy uusien sähköasemien rakentamisesta. Yleissuunnittelu laskee siirtoverkkohankkeiden investointikustannukset EV:n yksikköhinnoilla. Siirtopalvelu –osasto vastaa siirtoverkkohankkeiden kohdesuunnittelusta ja rakennuttamisesta. Sähköasemia rakennetaan tai saneerataan seuraavista syistä:

- Sähköaseman kapasiteetti ylittyy kuormituksesta
- Sähköaseman kapasiteetti ylittyy korvaustarkasteluissa
- Sähköasema on vanhentunut

- Sähköaseman häviöt ovat liian suuret

Haja-asutusalueella sähköasemia voidaan rakentaa myös vikakeskeytysten määrän tai maasulkuvirran pienentämisen tähden. Kaupunkialueen sähköverkossa uudet sähköasemat rakennetaan pääasiassa edellä mainitun luettelon kahdesta ensimmäisestä syystä.

4.12 Kuormitusennusteet

Yleissuunnittelu laatii kuormitusennusteita ja pyrkii niiden avulla päättämään, ylittvätkö sähköasemien kapasiteetit tarkastelujakson aikana. Yleissuunnittelu laatii kuormitusennusteet 30 vuodeksi ja tarkentaa kuormitusennusteet viiden vuoden välein. Kuormitusennusteiden lähteinä toimivat Oulun yleiskaava, Oulun asemakaavat, Oulun seudun maankäytön toteuttamisohjelma ja Oulun kaupungin asunto-ohjelma. Näiden lähteiden perusteella arvioidaan eri rakennustyyppien kehitys.

Rakennukset luokitellaan seuraavasti: kerrostalot, rivitalot, omakotitalot, palvelualan rakennukset ja teollisuusrakennukset. Rakennusten vuosienenergiat ennustetaan asunto-kohtaisilla ja pinta-alakohtaisilla ominaiskulutuksilla. Huipputehot saadaan jakamalla vuosienenergiat huipunkäyttöajoilla. Kuormitusennusteet laaditaan ensiksi lähiöihin ja myöhemmin ne jaetaan pienempiin osiin, joista kuormitukset jaetaan johtolähdöille.

Kuormitusennusteissa on kaksi epävarmuustekijää. Ensiksi, lähteissä esitetyt ennusteet eivät ole koskaan täysin luotettavia. Toiseksi, lähteiden tiedot ulottuvat vain 20-25 vuodeksi eteenpäin. Sen jälkeiselle ajalle kuormitusennusteet perustuvat yleissuunnittelijan omiin arvioihin rakennuskannan kehittymisestä.

4.13 Sähköasemien korvaustarkastelut

Yleissuunnittelu tekee viiden vuoden välein korvaustarkastelut sähköasemille. Korvaustarkastelujen tarkoitus on selvittää, ovat sähköasemat korvattavissa vikatilanteissa. Mittoittava vika riippuu sähköaseman päämuuntajien määrästä:

- Yksi päämuuntaja: sähköaseman kiskosto on vaurioitunut eikä ole käytössä
- Kaksi tai useampi päämuuntaja: vika on siirtoverkossa ja sähköaseman kiskosto on käytettävissä

Perusperiaatteena on se, että vioittuneen sähköaseman kuormat syötetään varayhteyksillä toisista sähköasemista. Silloin sallitaan suurempi jännitteenalenema, mutta johtojen ja päämuuntajien terminen kuormitettavuus ei saa ylittyä. Korvaustarkastelut tehdään nykyisille kuormituksille sekä kuormitusennusteiden perusteella ennustetuille kuormituksille.

4.14 Vikatarkastelut

Yleissuunnittelu tekee KJ-verkolle oikosulkuvika- ja maasulkuvikatarkastelut viiden vuoden välein. Oikosulkuvikatarkastelussa lasketaan keskijännitelähtöjen oikosulkuvikavirrat ja tarkastetaan, että releiden asetteluarvot ovat oikein ja etteivät johtojen oikosulkukestoisuudet ylity. Maasulkuvikatarkastelussa lasketaan keskijännitelähtöjen maasulkuvikavirrat ja tarkistetaan, että releiden asetteluarvot ovat oikein ja etteivät maasulkuvikavirran aiheuttamat jännitearvot ylitä sallittuja arvoja. Oikosulku- ja maasulkuvikavirtalaskennat tehdään myös silloin, kun uusi sähköasema otetaan käyttöön. Yleissuunnittelu laskee kerran vuodessa PJ-verkon nollausehdot. Kohdesuunnittelu ja kunnossapito selvittävät toimenpiteet kohteille, joille nollausehdot eivät toteudu. Usein viallisen nollausehdon syyksi paljastuu dokumentointivirhe VTJ:ssä.

4.15 Elinkaarikustannukset

Seuraavaksi tarkastellaan, millä periaatteella yleissuunnittelu laskee elinkaarikustannukset. Jo aikaisemmissa alaluvuissa on kerrottu, että yleissuunnittelu laskee investointikustannukset EV:n yksikköhinnoilla. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan häviö-, keskeytys-, ja kunnossapitokustannusten laskentaa.

4.15.1 Häviökustannukset

Yleissuunnittelu ei tarkastele johtojen häviökustannuksia tapauskohtaisesti jokaiselle uudisrakennus- tai saneerauskohteelle. Yleissuunnittelu laatii sähköverkon kehityssuunnitelman 5-10 vuoden välein, jonka yhteydessä se tarkastelee johtojen häviökustannukset koko sähköverkolle. Sen pohjalta yleissuunnittelu päättää, mitä johdintyyppisiä ja johdinpoikkipintoja OESJ:n sähköverkossa käytetään. OESJ:n sähköverkossa käytetään vain rajattu määrä eri johtimia ja poikkipintoja, joista tärkeimmät ovat esitetty taulukossa 4.3.

Taulukko 4.3 Käytetyimmät johtimet ja kaapelit OESJ:n sähköverkossa.

| Johdin | Käyttö |
|-----------------------------|-------------------|
| Kaapelit | |
| Ahxamkw 240 mm ² | 10 kV, runkojohto |
| Ahxamkw 300 mm ² | 10 kV, runkojohto |
| Ahxamkw 185 mm ² | 20 kV, runkojohto |
| Ahxamkw 95 mm ² | 20 kV, haarajohto |
| Avojohtot | |
| Al 132 mm ² | 20 kV, runkojohto |
| Raven 63 mm ² | 20 kV, haarajohto |

OESJ:ssä huomioidaan päämuuntajien ja jakelumuuntajien hankinnassa häviökustannuksia. Hankintahinnaltaan kalliimman ja paremman hyötysuhteen omaavaan muunta-

jan elinkaarikustannukset saattavat olla pienempiä verrattuna halvempaan muuntajaan, jolla on huonompi hyötysuhde.

4.15.2 Keskeytyskustannukset

Yleissuunnittelu ei laske kaupunkialueen uudisrakennus- tai saneerauskohteille keskeytyskustannuksia, koska kaupunkialueella KJ-verkon rakenne on aina sama eikä ole tarvetta tarkastella eri vaihtoehtoja.

Yleissuunnittelu tarkastelee haja-asutusalueen saneerauskohteille eri vaihtoehtoja ja laskee niille keskeytyskustannukset. Yleissuunnittelu laskee keskeytyskustannukset vikataajuudella ja viankorjauksen yksikköhinnalla, jotka löytyvät liitteestä B. Yleissuunnittelu ei laske KAH kustannuksia ajan säästämisen vuoksi, koska eri vaihtoehtojen KAH kustannusten erot ovat pieniä verrattuna investointikustannuksiin.

Yleissuunnittelu laskee KAH kustannuksia, kun se tarkastelee kauko-ohjattavien erottimien sijoituspaikkoja. KAH kustannusten laskennassa käytettävät luotettavuusparametrit löytyvät liitteestä B. Yleissuunnittelun käytössä ei ole luotettavuuslaskenta -sovellusta, joten se laskee KAH kustannukset Excelillä.

4.15.3 Kunnossapitokustannukset

Yleissuunnittelu ei laske kaupunkialueen uudis- tai saneerauskohteille kunnossapitokustannuksia, koska ei ole tarvetta tarkastella eri vaihtoehtoja. Yleissuunnittelu laskee kunnossapitokustannukset haja-asutusalueella sijaitseville saneerauskohteille käyttäen liitteessä B olevia kunnossapitokustannusten yksikköhintoja.

4.16 Yleissuunnittelun pääongelmat

Yleissuunnittelun toiminnassa on kaksi pääongelmaa, joista ensimmäinen liittyy rakennuskustannusten laskentaan ja toinen yleissuunnitelmien ja investointien hallintaan.

4.16.1 Rakennuskustannusten laskeminen

Yleissuunnittelu laskee yleissuunnitelmien rakennuskustannukset kahdella järjestelmällä, jotka ovat VTJ ja Excel. Yleissuunnittelu suunnittelee sähköverkon VTJ:llä, mutta sillä ei voi laskea verkkokomponenttien rakennuskustannuksia, koska siihen tarvittava toiminto puuttuu OESJ:n VTJ:stä. Yleissuunnittelu laskee verkkokomponenttien kappalemäärät ja johtojen pituudet manuaalisesti sähköisestä suunnitelmasta ja syöttää ne Exceliin, joka laskee rakennuskustannukset verkkokomponenttien yksikköhinnoilla. Verkkokomponenttien manuaalinen laskenta on hidasta ja työlästä. Lisäksi laskennassa ja tietojen syöttämisessä Exceliin voi syntyä helposti virheitä.

Työmäärää kasvattaa vielä se, että joistakin kohteista tehdään useampia yleissuunnitelmia, joille rakennuskustannukset on laskettava erikseen. Haja-asutusalueen saneerauskohteista tehdään vaihtoehtoisia yleissuunnitelmia, joita verrataan keskenään. Asemakaava-alueesta tehdään suunnitteluprosessin aikana useampia eri luonnoksia, joille on laadittava joka kerta erillinen yleissuunnitelma.

Tässä työssä tarkastellaan VTJ:ään liitettävää toimintoa, joka laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset yksikköhintalistalla. Tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin se soveltuu yleissuunnitelmien rakennuskustannusten laskentaan ja kuinka paljon hyötyä siitä olisi yleissuunnittelulle. Sen toimintaa verrataan yleissuunnittelun nykykäyttöön, jossa rakennuskustannukset lasketaan kahdella järjestelmällä.

4.16.2 Yleissuunnitelmien ja investointien hallinta

Yleissuunnitelmat ja niiden budjetti- ja aikataulutiedot eivät löydy kootusti yhdestä järjestelmästä, vaan ne sijaitsevat eri järjestelmissä ja eri tiedostoissa ja ovat puutteellisia:

- Siirtoverkon uudis- ja saneerauskohteiden tiedot ovat Word- ja Excel -tiedostoissa
- Jakeluverkon uudisrakennuskohteiden (asemakaavahankkeiden) yleissuunnitelmat ovat pääosin pdf-tiedostoissa
- Jakeluverkon saneerauskohteiden yleissuunnitelmat ovat VTJ:ssä
- Toimitusvarmuusinvestointien tiedot ovat koottuna yhteen pdf-tiedostoon
- Jakeluverkon uudis- ja saneerauskohteiden budjetti- ja aikataulutiedot ovat Word- ja Excel -tiedostoissa
- Useille jakeluverkon saneerauskohteille ei ole laskettu budjettia eikä ole määritettyä aikataulua
- Useista jakeluverkon saneerauskohteista ei ole mitään yleissuunnitelmaa tai dokumentoitua tietoa

Tietojen hajanaisuus vaikeuttaa yleissuunnitelmien hallintaa ja investointisuunnitelman ylläpitoa. Investointeja on vaikeaa jaotella eri vuosiin tai priorisoida. Yleissuunnitelmien läpinäkyvyys muille osastoille on huono. Muut osastot pystyvät katsomaan vain VTJ:ssä olevia yleissuunnitelmia, mutta niistä on mahdotonta hahmottaa kokonais kuvaa. Heidän on vaikea antaa palautetta yleissuunnitelmiin. Eräs toinen puute on se, ettei yleissuunnitelmien budjettia voi verrata toteutuneisiin kustannuksiin.

Tässä työssä tarkastellaan kahta investointien hallinta –sovellusta, ja tavoitteena on selvittää, mitä hyötyä niistä voisi olla edellä mainittuihin ongelmiin. Investointien hallinta –sovelluksella olisi mahdollista ylläpitää investointisuunnitelmaa, jossa näkyisivät kaikki tai suurin osa investointien ja yleissuunnitelmien tiedoista. Tämä mahdollistaisi paremman investointien suunnittelun. Lisäksi investointien hallinta –sovelluksella voisi verrata yleissuunnitelmien budjettia toteutuneisiin rakennuskustannuksiin.

5. SÄHKÖVERKON SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa esitellään testattavat sovellukset ja niiden pääjärjestelmät. Pääjärjestelmät ovat Trimble NIS –verkkotietojärjestelmä ja HeadPower Työnohjaus sovellus, joka on OESJ:n rakennuttamisjärjestelmä. Ensimmäiset kaksi testattavaa sovellusta ovat Trimble CPP ja Trimble NIM, jotka ovat Trimble NIS:n laajennuksia. Kolmas testattava sovellus on HeadPower Työnohjaus sovellukseen liitettävä Yleissuunnittelu –toiminto.

5.1 Trimble

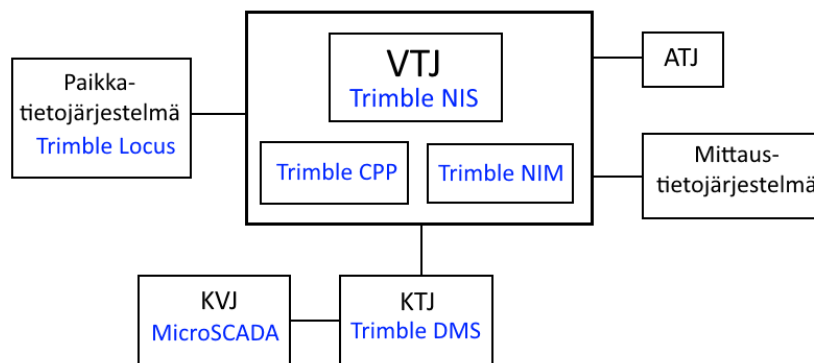
Tekla on Trimble-konserniin kuuluva ohjelmistoyritys, joka tekee tietomallinnusohjelmistoja rakennus-, energia- ja infrastruktuurialalle. Trimble NIS, Trimble CPP ja Trimble NIM ovat Teklan tuotteita. [12]

5.1.1 Trimble Network Information System

VTJ on graafinen tietokantaperusteinen tietojärjestelmä, johon on mallinnettu sähköverkko. Verkkokomponenttien tiedot ovat tallennettu yhteiseen tietokantaan, joka on erilaisten sovellusten hyödynnettävissä. Sovelluksilla voidaan hakea tietoa, muokata tietoa, tehdä verkostolaskentoja ja suunnitella sähköverkkoa. VTJ:ssä on graafinen käyttöliittymä, jossa sähköverkkoa tarkastellaan ja ylläpidetään taustakartan päällä. Klikkaamalla verkkokomponentteja VTJ antaa niistä yksityiskohtaista tietoa. VTJ näyttää sähköverkkoa myös kaaviomuodossa. [5, s. 265-268]

OESJ:n VTJ on Trimble Network Information System (NIS). Kuva 5.1 näyttää OESJ:n VTJ:n ja siihen liitetyt järjestelmät. OESJ:n paikkatietojärjestelmä on Trimble Locus. Se sisältää kartta-aineistoja ja verkkokomponenttien sijaintitiedot. Kartoittajat tallentavat paikkatietojärjestelmään kaapeleiden, muuntamoiden ja jakokaappien sijaintitiedot. Asiakastietojärjestelmä (ATJ) sisältää asiakkaiden perustiedot ja vuosikulutusarviot. Mittaustietojärjestelmä sisältää asiakkaiden tuntikulutustiedot, jotka tulevat etäluettavista mittareista. Hyödyntämällä näitä järjestelmiä VTJ:llä voi tarkastella liittymäpisteeseen kytkettyjen asiakkaiden perustietoja ja tuntikulutustietoja. OESJ:n käytöntukijärjestelmä (KTJ) on Trimble Distribution Management System (DMS). KTJ näyttää sähköverkon kytkentätilan ja tukee käyttökeskuksen henkilökuntaa erilaisilla toiminnoilla, esimerkiksi vian paikannuksella. OESJ:n KJV on MicroSCADA. KJV on kytketty KTJ:ään. KJV näyttää sähköasemalla mitattuja virta- ja jännitearvoja ja sillä voidaan

ohjata kauko-ohjattavia erottimia. Trimble CPP ja Trimble NIM ovat NIS:n sovelluksia, joita esitellään alaluvuissa 5.1.3 ja 5.1.4 tarkemmin. [5] [5, s. 265-268]



Kuva 5.1 OESJ:n VTJ ja siihen liitetyt tietojärjestelmät.

NIS:iin dokumentoitua sähköverkkoa, joka vastaa rakennettua sähköverkkoa, kutsutaan master verkkoksi. NIS:n tietokantaan voidaan luoda sähköisiä suunnitelmia, joissa voidaan tehdä muutoksia master verkkoon ja mallintaa suunniteltua sähköverkkoa. NIS:iin määriteltyjä verkkokomponenttityyppejä kutsutaan lajeiksi.

5.1.2 NIS:n käyttö yleissuunnittelussa

NIS on yleissuunnittelun tärkein työkalu. Yleissuunnittelu käyttää NIS:iä sähköverkon nykytilan tarkasteluun, sähköverkon suunnitteluun ja sähköverkon teknisten tunnuslukujen raportoimiseen EV:lle. Nykytilan tarkastelussa pyritään verkostolaskentojen avulla selvittämään, onko sähköverkossa kriittisiä komponentteja, jotka eivät täytä teknisiä vaatimuksia. Lisäksi nykytilan tarkastelussa kartoitetaan sähköverkon saneeraustarpeita analysoimalla verkkokomponenttien ikä- ja kunnossapitotietoja.

Kun yleissuunnittelu suunnittelee sähköverkkoa, se perustaa NIS:iin sähköisiä suunnitelmia, joita voidaan kutsua yleissuunnitelmiksi. Yleissuunnittelu mallintaa suunniteltua sähköverkkoa digitoimalla KJ-verkkoa, joka koostuu pääosin muuntamoista ja niitä yhdistävistä johdoista. Suunnittelun sähköverkon kuormitusta mallinnetaan syöttämällä asiakkaiden vuosienenergiat muuntamoihin. Suunnittelulle sähköverkolle voidaan tehdä verkostolaskentoja.

NIS:illä voidaan tehdä seuraavia verkostolaskentoja KJ-verkolle:

- tehonjakolaskenta
- oikosulkuvian laskenta
- maasulkuvian laskenta

Tehonjakolaskennassa NIS laskee johtolähdön tehon, virran ja jännitteenaleneman tietyltä ajanhetkeltä tai huippukuormitustilanteessa. Lisäksi se laskee johtolähdön huippu-häviötehon, häviöenergian ja johtolähdössä olevien asiakkaiden vuosikulutusennusteen.

5.1.3 Trimble Construction Project Planning

Trimble Construction Project Planning (CPP) on Trimble NIS -sovellus, joka laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset sisältäen erilaiset materiaali- ja työkustannukset. CPP mahdollistaa sen, että sähköisen suunnitelman ja rakennuskustannusten laskennan voi tehdä samalla järjestelmällä, eli NIS:illä.

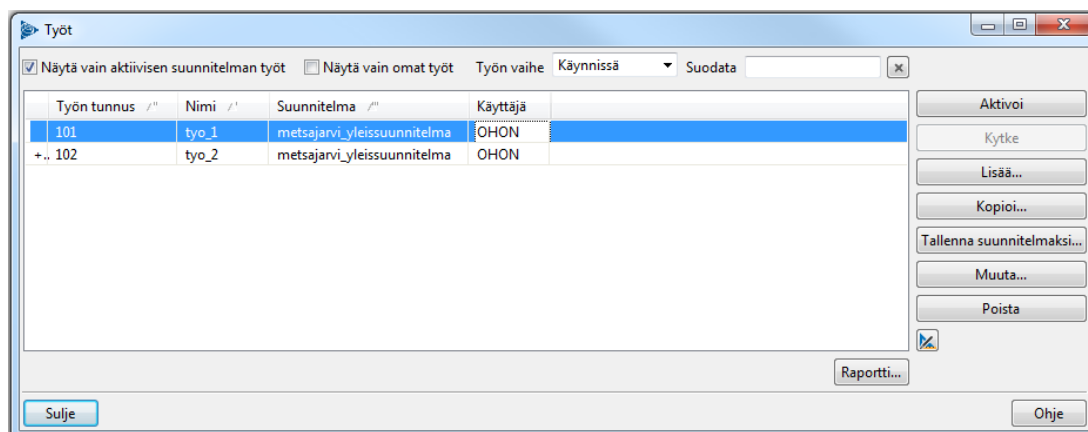
CPP:hen voidaan luoda eri käyttötarkoituksia ja laskentatarkkuuksia varten useita hintalistoja erillisellä hallintatyökalulla. Tässä työssä hintalista muodostettiin EV:n vuoden 2014 yksikköhinnoilla. Hintalista koostuu *Toimenpiteistä*, jotka sisältävät verkkokomponenttien kustannustiedot. *Toimenpiteille* voidaan syöttää seuraavia tietoja:

- toimenpidekoodi
- nimi
- toimenpidetyyppi (investointi, tarkastus, kunnossapito, korjaus, maankäyttö tai purku)
- yksikkö (kpl tai m)
- kustannustietoja (oman työn kustannus, konekustannukset, urakointikulut, materiaalikustannus, muut kulut ja kokonaiskulut)
- tuntitietoja (oma työ, kone ja urakoitsija)

Toimenpidetyypeistä käytettiin vain *investointia* ja *purkua*. Kustannustiedoista käytettiin vain *materiaalikustannusta* ja *muut kulut*. Verkkokomponenttien rakennuskustannukset, eli EV:n yksikköhinnat, syötettiin *materiaalikustannuksiin*. Kaapeleiden kaivukustannukset syötettiin *muihin kuluihin*. Muita kustannustietietoja ei käytetty tässä työssä. Myöskään tuntitietoja ei käytetty.

Toimenpiteet kytketään hallintatyökalulla lajeihin. Lajeihin kytkettävät *toimenpiteet* jaetaan rakennus- ja purkutoimenpiteisiin. Rakennustoimenpiteet aktivoituvat, kun kyseinen laji digitoidaan sähköiseen suunnitelmaan. Purkutoimenpiteet aktivoituvat, kun kyseinen laji puretaan (poistetaan) master verkosta. Jos sähköiseen suunnitelmaan digitoituja lajeja poistetaan, purkutoimenpiteet eivät aktivoidu. Toimenpiteet lasketaan kapalemäärän tai metrimäärän perusteella.

Sähköiseen suunnitelmaan luodaan yksi tai useampi *Työ*. *Työt* voidaan aktivoida ja vapauttaa, mutta vain yksi *Työ* voi olla kerrallaan aktivoituna. Kuva 5.2 esittää *Työt* –valikon, jolla luodaan, aktivoidaan ja vapautetaan *Työt*. Kun jokin *Työ* on aktivoituna, sähköiseen suunnitelmaan digitoitavat verkkokomponentit tallentuvat kyseiseen *Työhön*. CPP laskee rakennuskustannukset niille verkkokomponenteille, jotka sisältyvät johonkin *Työhön*. Verkkokomponentteja voidaan myös manuaalisesti siirtää *Työhön* tai *Työn* ulkopuolelle *Työn kohteet* –valikossa. *Töille* valitaan hintalista, jota käytetään sen sisältämien verkkokomponenttien rakennuskustannuksen laskentaan.



Kuva 5.2 Työt –valikko.

Rakennuskustannukset voidaan laskea tietyllä *Työlle* tai koko sähköiselle suunnitelmalle. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa CPP laskee kaikkien kyseiseen sähköiseen suunnitelmaan kytkettyjen *Toiden* rakennuskustannukset. Rakennuskustannusten laskentatuloksissa näkyvät toimenpiteet, määrät ja kustannustiedot. Rakennuskustannusten laskentatulokset voidaan tulostaa myös Excel tiedostoksi. Kuva 5.3 näyttää esimerkkikohteen rakennuskustannusten laskentatulokset.

| Nimi | Määrä | Lisämäärä | Kokonaismäärä | Materiaalikustannus | Muut kulut | Kokonaiskulut |
|--|-------|-----------|---------------|---------------------|------------|---------------|
| Toimenpide: 004 Kevyt puistomuuntamo | 1 | 0 | 1 | 9170 | 0 | 9170 |
| Toimenpide: 006 Puistomuuntamo, sisältä hoidettava | 2 | 0 | 2 | 67980 | 0 | 67980 |
| Toimenpide: 014 Muuntajat, 100-160 kVA | 1 | 0 | 1 | 4920 | 0 | 4920 |
| Toimenpide: 017 Muuntajat, 500-630 kVA | 1 | 0 | 1 | 10160 | 0 | 10160 |
| Toimenpide: 018 Muuntajat, 800 kVA | 1 | 0 | 1 | 14430 | 0 | 14430 |
| Toimenpide: 051 20 kV, 150 - 185 maakaapeli | 1319 | 0 | 1319 | 50050 | 13350 | 63400 |
| Toimenpide: 119 KJ-ilmajohdon purku | 550 | 0 | 550 | 2914 | 0 | 2914 |
| Toimenpide: 123 Pylväsmuuntamon purku | 1 | 0 | 1 | 1000 | 0 | 1000 |
| Työ yhteensä: 101 | 0 | 0 | 0 | 160624 | 13350 | 173974 |

Kuva 5.3 Rakennuskustannusten laskentatulokset.

CPP:llä voidaan käsitellä myös materiaalitietoja. Hintalistaan voidaan toimenpiteiden lisäksi liittää verkkokomponenttien materiaalitietoja. Näiden tietojen avulla CPP:llä voidaan luoda tarvikelista, jota voidaan käyttää tarviketilauksen tekemiseen rakennuttamisjärjestelmällä. Tätä toimintoa ei käytetty tässä työssä.

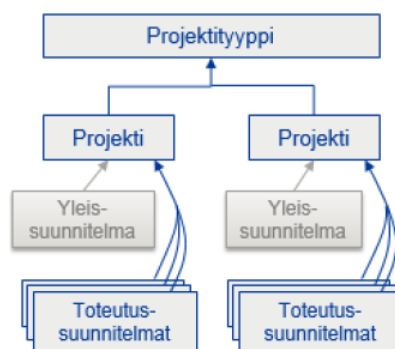
5.1.4 Trimble Network Investment Management

Trimble Network Investment Management (NIM) on Trimble NIS:iin kuuluva investointien hallinta –sovellus. NIM:illä voidaan aikatauluttaa, budjetoida ja tarkastella erilaisia tunnuslukuja investoinneille. Tunnusluvut tarkentuvat investointihankkeen edetessä ja antavat siten reaaliaikaisen tilannekuvan yksittäisistä investoinneista sekä koko-

naistilanteesta. NIM liittää investointeihin tietoja muista järjestelmistä, esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmästä (ERP-järjestelmästä) tai rakennuttamisjärjestelmästä. OESJ:llä ei ole ERP-järjestelmää käytössä.

Investointien hallinta perustuu kolmeen hierarkiatasoon, jotka ovat projektityyppi, projekti ja sähköiset suunnitelmat. Kuva 5.4 havainnollistaa kyseisiä hierarkiatasoja. Projektityyppi on ylin hierarkiataso ja kuvaa investoinnin tyyppiä. Projektityypit ovat yhtiökohtaisesti määriteltävissä. Projektityyppi voi olla esimerkiksi *KJ-uudisarkennus* tai *KJ-peruskorjaus*.

Projekti on toinen hierarkiataso ja kuvaa yksittäistä investointia. Projekti on myös tietue, johon tallennetaan yleistä tietoa projektista. Siihen voidaan tallentaa esimerkiksi projektin aikataulu, kuvaus, alue, yhteyshenkilöitä, kommentteja ja liitteitä. Lisäksi projekteihin voidaan linkittää sähköisiä suunnitelmia, jotka ovat tyypiltään joko yleissuunnitelmia tai toteutussuunnitelmia. Yleissuunnitelmat sisältävät yleispiirteisen suunnitelman sähköverkosta. Toteutussuunnitelmat ovat tarkentuneita suunnitelmia ja kattavat yleensä pienemmän osan yleissuunnitelmasta.

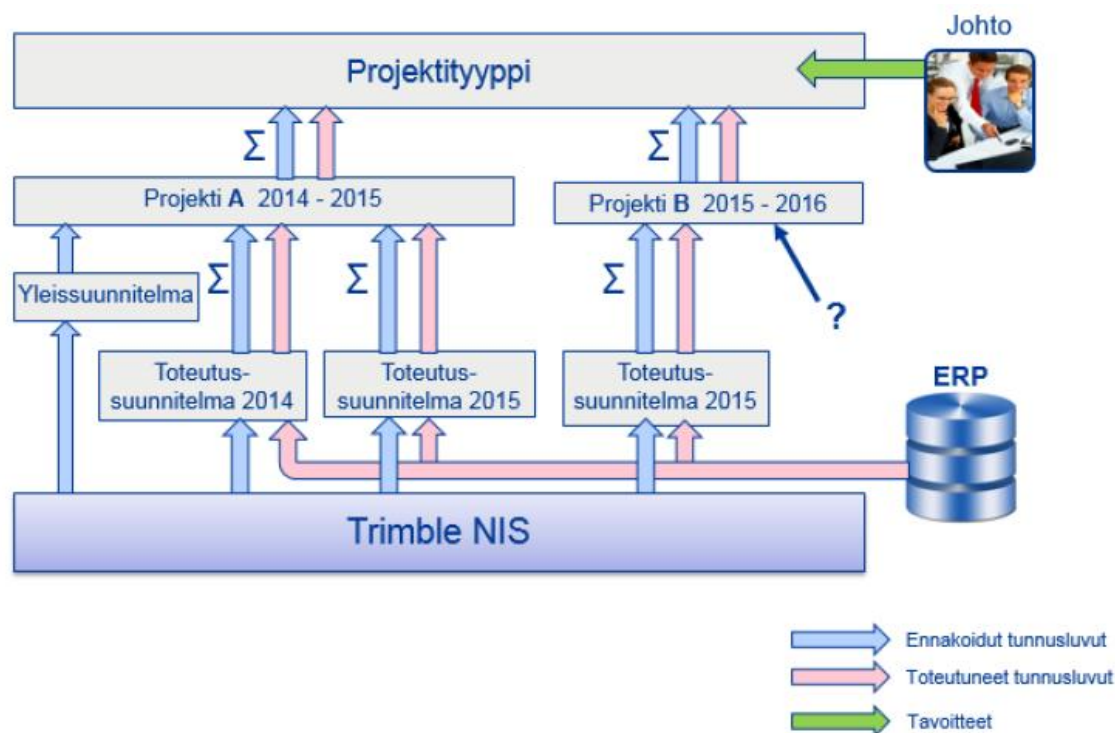


Kuva 5.4 NIM:issä käytetyt hierarkiatasot [13, s. 536].

NIM laskee erilaisia teknisiä ja taloudellisia tunnuslukuja sähköisistä suunnitelmista. Tekniset tunnusluvut kuvaavat verkkokomponenttien määriä, kuten esimerkiksi rakennettavan KJ-verkon pituutta tai rakennettavien muuntamoiden määrää. Tekniset tunnusluvut lasketaan määrälaskentahinnaston perusteella. Siinä määritellään, miten lajit luokitellaan eri teknisiä tunnuslukuja kuvaaviin komponenttiryhmiin.

Taloudelliset tunnusluvut kuvaavat kustannuksia tai verkonarvoa. Esimerkkejä tästä ovat rakennuskustannus, JHA ja NKA. Rakennuskustannus voidaan laskea CPP:llä. JHA:n ja NKA:n laskentaan käytetään omaisuuslaskentahinnastoa, jossa määritellään laskentaan sisältyvät lajit ja niiden yksikköhinnat. Tunnuslukuja voidaan tarkastella yksittäiselle projektille, jolloin tunnusluvut kerätään yleis- ja toteutussuunnitelmista. Tunnuslukuja voidaan tarkastella projektityypille, jolloin tunnusluvut kerätään kaikista projektityyppiin kuuluvista projekteista.

Kuva 5.5 esittää periaatteen, jolla tunnusluvut siirtyvät eri hierarkiatasojen välillä. Johto asettaa tavoitteet, jota kuvaa vihreä nuoli. Tavoitteet ovat eri tunnusluvuille asetettuja vuosikohtaisia tavoitearvoja, jotka annetaan projektityypeille tai urakointialueille.



Kuva 5.5 Tunnuslukujen siirtyminen eri hierarkiatasojen välillä [13, s. 551].

Siniset nuolet kuvaavat ennakoitujen tunnuslukujen siirtymistä eri hierarkiatasojen välillä. Ennakoidut tunnusluvut tarkentuvat projektin edetessä ja antavat ajankohtaisen tilannekuvan projektista. Tätä voidaan havainnollistaa tarkastelemalla projekti A:ta. Projekti A luodaan vuosille 2014-2015. Aluksi projektin ennakoidut tunnusluvut, esimerkiksi rakennuskustannusarvio, syötetään käsin. Ennakoidut tunnusluvut ovat tässä vaiheessa epätarkkoja. Projektin rakennuskustannus ja muut ennakoidut tunnusluvut jaetaan prosenttiluvuilla eri vuosille. [13, s. 551-552]

Kun suunnittelu etenee, projektiin luodaan yleissuunnitelma vuosille 2014-2015. Yleissuunnitelmaan digitoidaan yleispiirteinen suunnitelma sähköverkosta, ja sen rakennuskustannus lasketaan CPP:llä. Yleissuunnitelman rakennuskustannus ja muut tunnusluvut siirtyvät projektin ennakoiduiksi tunnusluvuiksi ja korvaavat aiemmin käsin syötetyt tunnusluvut. Projektin ennakoidut tunnusluvut perustuvat

- vuodelle 2014: yleissuunnitelmaan
- vuodelle 2015: yleissuunnitelmaan

Seuraavaksi projektiin luodaan toteutussuunnitelma 2014, johon digitoidaan tarkentunut suunnitelma vuonna 2014 rakennettavasta sähköverkosta. Toteutussuunnitelman rakennuskustannukset lasketaan CPP:llä. Toteutussuunnitelman rakennuskustannus ja muut

tunnusluvut siirtyvät projektin ennakoiduiksi tunnusluvuiksi vuodelle 2014 ja korvaavat yleissuunnitelman antamat tunnusluvut vuodelle 2014. Projektin ennakoidut tunnusluvut perustuvat

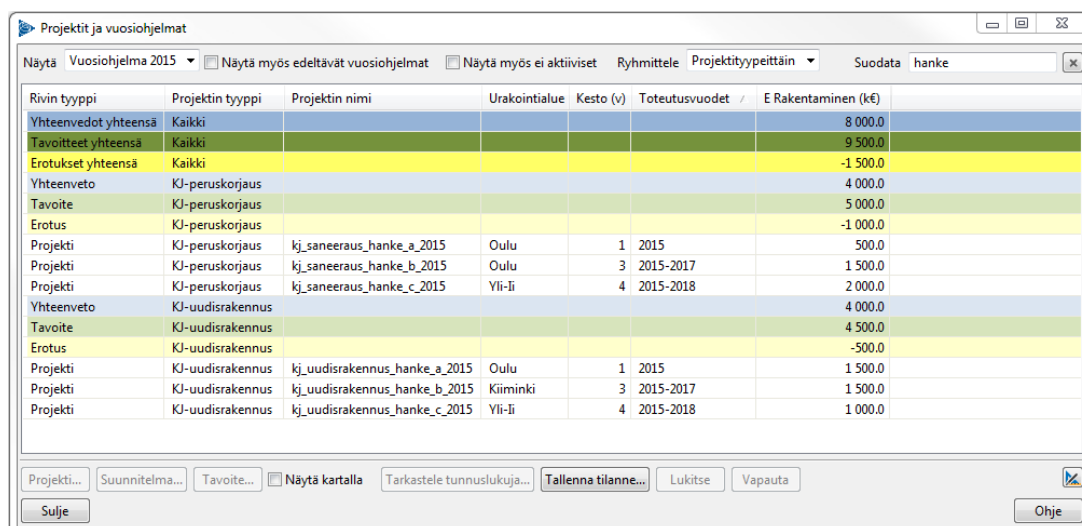
- vuodelle 2014: toteutussuunnitelmaan 2014
- vuodelle 2015: yleissuunnitelmaan

Seuraavaksi projektiin luodaan toteutussuunnitelma 2015, jonka tunnusluvut korvaavat yleissuunnitelman antamat tunnusluvut vuodelle 2015. Projektin ennakoidut tunnusluvut perustuvat

- vuodelle 2014: toteutussuunnitelmaan 2014
- vuodelle 2015: toteutussuunnitelmaan 2015

Toteutussuunnitelmien rakennuskustannus voi tarkentua useammassa vaiheessa, ja se on yrityskohtaisesti määriteltävissä. Esimerkiksi kohdesuunnittelijat voivat laskea ennen kilpailutusta alustavan rakennuskustannusarvion. Kilpailutuksen jälkeen saadaan tarkempi rakennuskustannusarvio urakkatarjouksesta. [13, s. 551-552]

Punaiset nuolet kuvaavat toteutuneita tunnuslukuja. Toteutuneet rakennuskustannukset siirtyvät NIM:iin ERP-järjestelmästä rajapinnan kautta. Toteutuneet tunnusluvut, jotka kuvaavat verkkokomponenttien määriä, JHA:a tai NKA:a, siirtyvät NIM:iin, kun lopulliset sähköiset suunnitelmat ajetaan master verkkoon.



The screenshot shows a software window titled "Projektit ja vuosiohjelmat". It contains a table with columns: Rivin tyyppi, Projektin tyyppi, Projektin nimi, Urakointialue, Kesto (v), Toteutusvuodet, and E Rakentaminen (k€). The table lists various project types like "Yhteenvetot yhteensä", "Tavoitteet yhteensä", "Erotukset yhteensä", "Yhteenveto", "Tavoite", "Erotus", "Projekti", "Yhteenveto", "Tavoite", "Erotus", "Projekti", "Yhteenveto", "Tavoite", "Erotus", "Projekti", "Projekti", and "Projekti". Each row shows the project name, location, duration, and implementation years, along with the estimated construction cost in thousands of euros.

| Rivin tyyppi | Projektin tyyppi | Projektin nimi | Urakointialue | Kesto (v) | Toteutusvuodet | E Rakentaminen (k€) |
|----------------------|------------------|-------------------------------|---------------|-----------|----------------|---------------------|
| Yhteenvetot yhteensä | Kaikki | | | | | 8 000,0 |
| Tavoitteet yhteensä | Kaikki | | | | | 9 500,0 |
| Erotukset yhteensä | Kaikki | | | | | -1 500,0 |
| Yhteenveto | KJ-peruskorjaus | | | | | 4 000,0 |
| Tavoite | KJ-peruskorjaus | | | | | 5 000,0 |
| Erotus | KJ-peruskorjaus | | | | | -1 000,0 |
| Projekti | KJ-peruskorjaus | kj_saneeraus_hanke_a_2015 | Oulu | 1 | 2015 | 500,0 |
| Projekti | KJ-peruskorjaus | kj_saneeraus_hanke_b_2015 | Oulu | 3 | 2015-2017 | 1 500,0 |
| Projekti | KJ-peruskorjaus | kj_saneeraus_hanke_c_2015 | Yli-Ii | 4 | 2015-2018 | 2 000,0 |
| Yhteenveto | KJ-uudisrakennus | | | | | 4 000,0 |
| Tavoite | KJ-uudisrakennus | | | | | 4 500,0 |
| Erotus | KJ-uudisrakennus | | | | | -500,0 |
| Projekti | KJ-uudisrakennus | kj_uudisrakennus_hanke_a_2015 | Oulu | 1 | 2015 | 1 500,0 |
| Projekti | KJ-uudisrakennus | kj_uudisrakennus_hanke_b_2015 | Kiiminki | 3 | 2015-2017 | 1 500,0 |
| Projekti | KJ-uudisrakennus | kj_uudisrakennus_hanke_c_2015 | Yli-Ii | 4 | 2015-2018 | 1 000,0 |

Kuva 5.6 Projektit- ja vuosiohjelmat –valikko, jossa näkyvät vuoden 2015 projektit.

Projektit ja vuosiohjelmat -valikko näyttää yhteenvedon kaikista järjestelmään syötetyistä aktiiveista projekteista. Käyttäjä voi valita, haluaako se nähdä kaikki projektit vai jaotella projektit vuosiluvun mukaan. Kun projektit jaotellaan vuosiluvun mukaan, yhteenvedossa näkyvät vain kyseiselle vuodelle osoitetut tunnusluvut. Projektit voidaan ryhmitellä projektityypin tai urakointialueen perusteella.

Yhteenvedossa näkyvät yksittäisten projektien tunnusluvut, sekä projektien yhteenlasketut tunnusluvut, jotka lasketaan projektityypeille tai urakointialueille. Yhteenvedossa näkyy myös tavoitteiden ja projektityypin tai urakointialueen erotus. Siten on mahdollista verrata tavoitteita suunniteltuihin tai toteutuneisiin investointeihin. Kuva 5.6 näyttää yhteenvedon vuoden 2015 projekteista. Siinä näkyy vain yksi tunnusluku, joka on ennakoitu rakennuskustannus. Käyttäjä voi itse määrittää, mitä tunnuslukuja yhteenvedossa näytetään.

5.2 HeadPower

HeadPower tarjoaa ohjelmistoratkaisuja energia- ja tietoliikennesektorille. Sen ohjelmistot liittyvät työprosessien hallintaan, joiden osapuolina ovat verkonhaltijat, suunnittelijat, urakoitsijat ja tarviketoimittajat. [14]

5.2.1 HeadPower Työnohjaus sovellus

HeadPower Työnohjaus sovellus on OESJ:n rakennuttamisjärjestelmä, jota käytetään verkon rakennustöiden kilpailuttamiseen, tilaamiseen, seurantaan ja siihen liittyvään viestintään. Työnohjaus sovellus toimii linkkinä rakennustyön tilaajan ja toimittajan välillä. Sähköverkkoyhtiö tilaa verkon rakennustyön Työnohjaus sovelluksella ja urakoitsija ottaa samalla järjestelmällä tilauksen vastaan. Kaikki rakennustyöhön liittyvä viestintä tehdään Työnohjaus sovelluksen kautta, mikä vähentää sähköpostin kirjoittamisen tarvetta. Työnohjaus sovellusta käytetään myös yrityksen sisäiseen viestintään ja tehtävien delegoimiseen. Työnohjaus sovellus helpottaa rakennustöiden hallintaa, koska kaikki rakennustyöt ja siihen liittyvät tiedot sijaitsevat yhdessä järjestelmässä. Työnohjaus sovellus on selainpohjainen järjestelmä, jota voidaan käyttää missä tahansa tietokoneessa, jossa on internetyhteys.

Kohdesuunnittelijat määrittelevät rakennustyön sisällön, laativat tarvikelistan ja laskevat rakennustyön kustannusarvion käyttämällä Sähkönjakelun yksiköitä. Ne ovat yksityiskohtaisia kuvauksia jakeluverkon rakennustöistä ja maanrakennustöistä, jotka laskeaan kappalemäärään, metrimäärän, pinta-alan tai tilavuuden perusteella. HeadPower on määritellyt Sähkönjakelun yksiköt yhteistyössä sähköverkkoyhtiöiden ja urakoitsijoiden kanssa. Kohdesuunnittelijat laskevat aluksi rakennuskustannusarvion, joka perustuu arvioituihin yksikkömääriin. Rakennustyön laskutus perustuu todellisiin yksikkömääriin. [15]

5.2.2 Työnohjaus sovelluksen rakennuttamisprosessi

Työnohjaus sovelluksen rakennuttamisprosessi sisältää monta vaihetta, joita havainnollistaa kuva 5.7. Kohdesuunnittelija perustaa verkostotyön Työnohjaus sovellukseen ja kirjaa siihen kaikki tarvittavat tiedot, kuten esimerkiksi työn kuvauksen ja aikataulun

(1). Kohdesuunnittelija laskee rakennustyön kustannusarvion Sähkönjakelun yksiköillä. Seuraavaksi maastosuunnittelija saa tehtäväpyynnön ja tekee sijoitussopimukset maanomistajien kanssa (2). Sen jälkeen verkostotyö tilataan urakoitsijalta (3). Urakoitsija hyväksyy tilauksen (4), aloittaa rakentamisen (5) ja lähettää laskutusehdotuksen (6). Rakennuttaja tarkistaa ja hyväksyy laskutusehdotuksen. Laskujen hyväksytys tehdään Työnohjaus sovelluksella, mutta laskut maksetaan taloustietojärjestelmällä. Kun rakennustyö on lähes valmis, urakoitsija suorittaa käyttöönoton (7). Seuraavaksi rakennuttaja tekee työmaalla tarkastuksen ja ilmoittaa mahdollisista puutteista urakoitsijalle (8). Kun puutteet on korjattu, rakennuttaja hyväksyy verkostotyön (9). Lopuksi tehtäväpyyntö lähetetään dokumentoijalle, joka dokumentoi tiedot VTJ:ään (10). Urakoitsija siirtää rakennustyön loppukuvat Työnohjaus sovellukseen. Dokumentoijat hyödyntävät kohdesuunnitelman tietoja sekä urakoitsijoiden antamia loppukuvia dokumentoinnissa. Jos verkostotyö kilpailutetaan, rakennuttamisprosessissa on enemmän vaiheita kuin edellä esitetty. Suuremmissa verkostotöissä urakoitsija lähettää useampia laskutusehdotuksia.

| Perustiedot | | Työpuu (10) |
|-------------|------------------|--|
| ID | Tyyppi/alityyppi | |
| 1. | 1185227 | Verkostotyö: v.2014 uudisinvestointi (A) |
| 2. | 1185262 | Tehtävä: Maastosuunnittelu |
| 3. | 1185227 | Tilaus: v.2014 uudisinvestointi |
| 4. | 1185227 | Tilaus hyväksytty |
| 5. | 1185227 | Rakentaminen aloitettu |
| 6. | 1206379 | Laskutusehdotus |
| 7. | 1185227 | Käyttöönotto |
| 8. | 1185227 | Viimeistely |
| 9. | 1185227 | Projekti hyväksytty |
| 10. | 1198233 | Tehtävä: Dokumentointi |

Kuva 5.7 Rakennuttamisprosessin vaiheet.

5.2.3 HeadPower Yleissuunnittelu –toiminto

HeadPower Työnohjaus sovellukseen on mahdollista liittää Yleissuunnittelu –toiminto. Yleissuunnittelu –toiminnolla voidaan luoda yleissuunnitelmia Työnohjaus sovellukseen. Yleissuunnitelmia voidaan aikatauluttaa ja budjetoida sekä niihin voidaan liittää verkostotöitä. Yleissuunnitelmat ovat rinnastettavissa investointeihin ja siten Yleissuunnittelu –toimintoa voidaan luokitella investointien hallinta –sovellukseksi.

Kun uusi yleissuunnitelma luodaan järjestelmään, sille valitaan alityyppi ja syötetään perustietoja, kuten esimerkiksi nimi, tunnus, kuvaus, alkamiskuukausi ja loppumiskuukausi. Alityypit kuvaavat yleissuunnitelman tyyppiä ja ovat yrityskohtaisesti määriteltävissä. Yleissuunnitelmalle asetetaan budjetti, joka jaetaan kuukausille. Budjetti voidaan jakaa tasajakona kaikille kuukausille yhdellä klikkauksella. Vaihtoehtoisesti budjetti

voidaan jakaa vapaasti eri kuukausille. Yleissuunnitelmalle voidaan lisätä täydentäviä tietoja, kuten esimerkiksi kommentteja, liitteitä ja yhteyshenkilöitä. Lisäksi yleissuunnitelma voidaan pisteyttää, eli sille voidaan valita sopivat pisteet eri priorisointikriteereille. Pääkäyttäjä määrittelee priorisointikriteerit ja niiden maksimipisteet. Tässä työssä valittiin taulukko 5.1:n mukaiset priorisointikriteerit.

Taulukko 5.1 Priorisointikriteerit.

| Priorisointikriteeri | Maksimipiste | Selitys |
|----------------------|--------------|---|
| Pakkohanke | 1 000 p | Kriittisiä hankkeita, joille annetaan aina maksimipiste |
| Toimitusvarmuus | 100 p | Investointi nostaa toimitusvarmuutta suhteessa pisteisiin |
| Ikä | 100 p | Mitä korkeampi ikä, sitä suurempi pistemäärä |
| Kunto | 100 p | Mitä huonompi kunto, sitä suurempi pistemäärä |

Yleissuunnitelmiin voidaan liittää Työnohjaus sovelluksessa olevia verkostotöitä. Yleissuunnitelmaan liitetyt verkostotyöt näkyvät listana yleissuunnitelman perustiedoissa. Tämä mahdollistaa sen, että yleissuunnitelman budjettia voidaan verrata verkostotöiden toteutuneisiin kustannuksiin. Toteutuneita kustannuksia on kahdenlaisia: laskettu toteuma ja kirjattu toteuma. Lasketulla toteumalla tarkoitetaan verkostotöiden laskuja, jotka hyväksytään Työnohjaus sovelluksella. Mikäli yleissuunnitelman verkostotöille kertyy erillisiä kustannuksia, joita ei hyväksytä Työnohjaus sovelluksella, ne voidaan manuaalisesti kirjata yleissuunnitelman kustannuksiksi. Näitä kustannuksia kutsutaan kirjatuksi toteumaksi.

Yleissuunnitelmien yhteenveto näkyy listauksena, jota havainnollistaa kuva 5.8. Listauksen sisältöä voidaan rajata monenlaisilla hakukriteereillä, esimerkiksi tekijän, aikavälin, alityypin, prioriteetin, hinnan tai nimen perusteella. Haussa voi valita myös useamman kriteerin yhdistelmän.

| ID | Alityyppi ▼ | Tunnus | Nimi | Prioriteetti | Hinta | Vastuuhenkilö | Alku | Loppu |
|---------|-------------------------|-----------|--------------------------|--------------|------------------|----------------|----------|------------|
| 1220479 | KJPJ_korvausinvestointi | kjppj_kor | kj_saneeraus_hanke_a | 110 / 1300 | 500 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.2.2015 | 31.12.2015 |
| 1220485 | KJPJ_korvausinvestointi | kjppj_kor | kj_saneeraus_hanke_b | 1240 / 1300 | 3 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2015 | 31.12.2017 |
| 1220491 | KJPJ_korvausinvestointi | kjppj_kor | kj_saneeraus_hanke_c | 130 / 1300 | 8 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2015 | 31.12.2018 |
| 1220498 | KJPJ_korvausinvestointi | kjppj_kor | kj_saneeraus_hanke_d | 50 / 1300 | 1 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2016 | 31.12.2016 |
| 1220547 | KJPJ_uudisinvestointi | kjppj_uud | kj_uudisrakennus_hanke_a | 0 / 1300 | 1 500 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.3.2015 | 31.12.2015 |
| 1220548 | KJPJ_uudisinvestointi | kjppj_uud | kj_uudisrakennus_hanke_b | 0 / 1300 | 3 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2015 | 31.12.2017 |
| 1220549 | KJPJ_uudisinvestointi | kjppj_uud | kj_uudisrakennus_hanke_c | 0 / 1300 | 4 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2015 | 31.12.2018 |
| 1220550 | KJPJ_uudisinvestointi | kjppj_uud | kj_uudisrakennus_hanke_d | 0 / 1300 | 1 000 000,00 EUR | Otto Honkasalo | 1.1.2017 | 31.12.2017 |

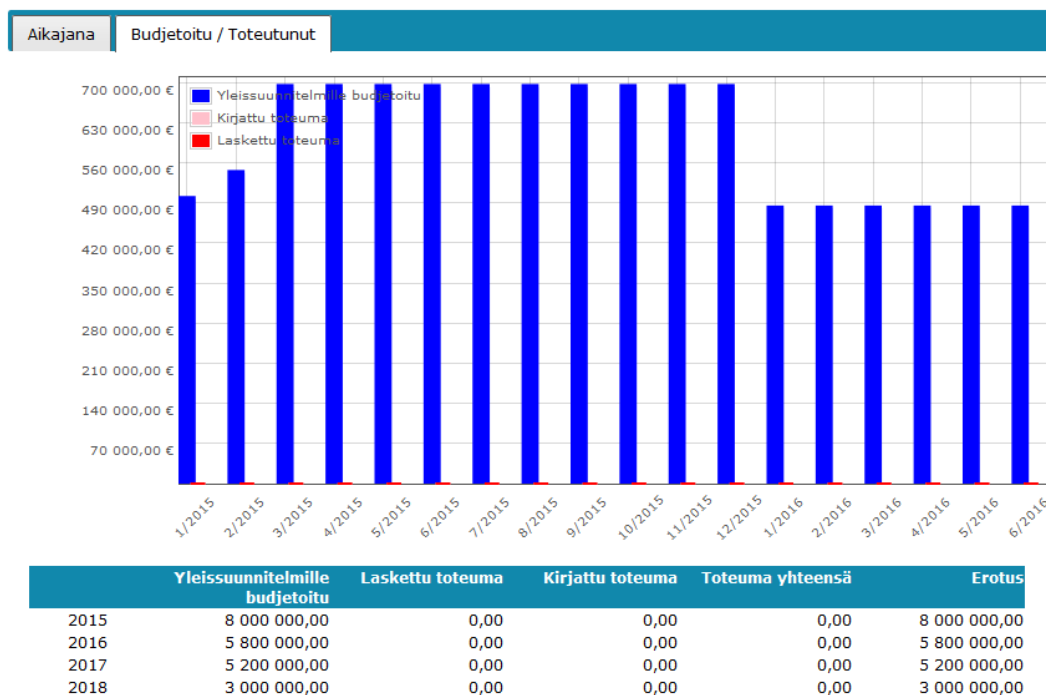
Kuva 5.8 Yleissuunnitelmien listaus.

Listauksessa olevia yleissuunnitelmia voidaan tarkastella aikajana -näkyymässä, jota havainnollistaa kuva 5.9. Jokainen yleissuunnitelma näkyy omana aikajanana, joka ulottuu yleissuunnitelman alkamiskuukaudelta päättymiskuukauteen. Aikajana -näkymä ulottuu korkeintaan viideksi vuodeksi. Aikajanalla näkyy yleissuunnitelmien yhteenselaskettu budjetoitu summa, toteuma ja näiden erotus jokaiselle kuukaudelle. Aikajanalla värisävy riippuu priorisointipisteiden määrästä.

| Aikajana | Budjetoitu / Toteutunut | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Kuukausi | 1/2015 | 2/2015 | 3/2015 | 4/2015 | 5/2015 | 6/2015 | 7/2015 |
| Yleissuunnitelmille budjetoitu | 500 000,00 € | 545 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € |
| Toteuma yhteensä | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Laskettu toteuma | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Kirjattu toteuma | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| Erotus | 500 000,00 € | 545 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € | 695 454,55 € |
| 3 000 000,00 € | 1220485 kjpg kor kj saneeraus hanke_b 1/2015 - 12/2017, 1240p | | | | | | |
| 8 000 000,00 € | 1220491 kjpg kor kj saneeraus hanke_c 1/2015 - 12/2018, 130p | | | | | | |
| 3 000 000,00 € | 1220548 kjpg uud kj uudisrakennus_hanke_b 1/2015 - 12/2017, 0p | | | | | | |
| 4 000 000,00 € | 1220549 kjpg uud kj uudisrakennus_hanke_c 1/2015 - 12/2018, 0p | | | | | | |
| 500 000,00 € | 1220479 kjpg kor kj saneeraus_hanke_a 2/2015 - 12/2015, 110p | | | | | | |
| 1 500 000,00 € | 1220547 kjpg uud kj uudisrakennus_hanke_a 3/2015 - 12/2015, 0p | | | | | | |
| 1 000 000,00 € | | | | | | | |
| 1 000 000,00 € | | | | | | | |

Kuva 5.9 Yleissuunnitelmien aikajana –näköymä.

Listauksessa olevien yleissuunnitelmien budjettia, kirjattua toteumaa ja laskettua toteumaa voidaan tarkastella pylväsdiagrammi –näköymässä, jota havainnollistaa kuva 5.10. Edellä mainitut luvut näkyvät pylväsdiagrammeissa kuukausitarkkuudella. Nämä luvut näkyvät lisäksi taulukkomuodossa vuositarkkuudella. Yleissuunnittelu –toiminnolla on myös mahdollista tarkastella yksittäisiä yleissuunnitelmia aikajana- ja pylväsdiagrammi –näköymässä.



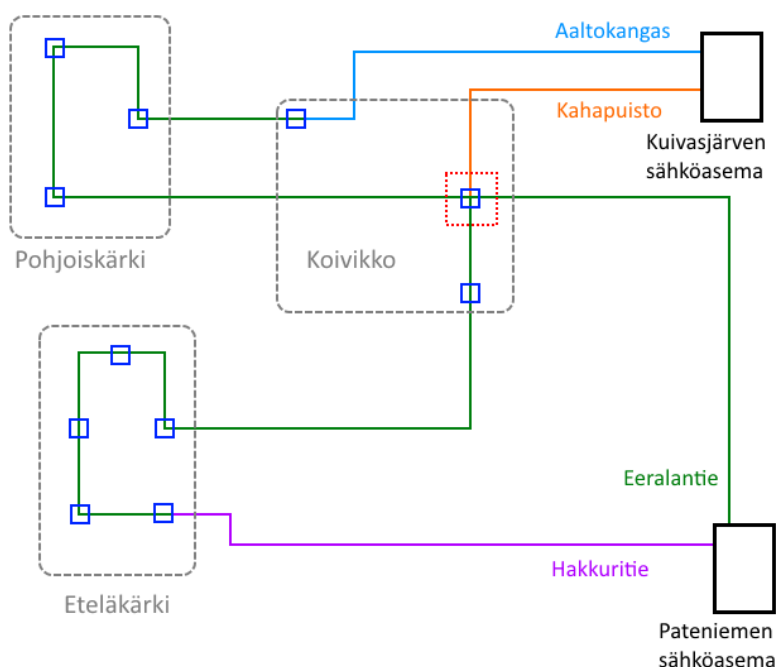
Kuva 5.10 Yleissuunnitelmien budjetin ja toteutuneiden kustannusten vertailu pylväsdiagrammissa.

6. YLEISSUUNNITELMIEN LAADINTA

Tässä luvussa laaditaan yleissuunnitelma yhdelle uudisrakennuskohteelle ja yhdelle saneerauskohteelle. Tämän luvun päätarkoitus on testata CPP:tä, jolla lasketaan investointikustannukset kummallekin kohteelle EV:n vuoden 2014 yksikköhinnoilla (liite C). Samalla tämä luku kuvaa uudisrakennus- ja saneerauskohteen yleissuunnitteluprosessia. Saneerauskohteelle lasketaan lisäksi myös elinkaarikustannukset.

6.1 Uudisrakennuskohde: Pateniemenrannan asemakaava

Uudisrakennuskohteeksi valittiin Pateniemenrannan asemakaava-alue, joka sijaitsee noin 10 kilometriä Oulun keskustasta pohjoiseen. Alueella on pitkään toiminut saha, joka lopetti toimintansa vuonna 1990. Alue kaavoitetaan asuinrakennusalueeksi 2500-3000 asukkaalle. Asemakaava-alueen tavoite on kuvattu seuraavalla lauseella: ”Tavoitteena on mahdollistaa suunnittelualueelle viihtyisiä ja vetovoimainen, hyvien palveluiden, liikenneyhteyksien ja virkistysmahdollisuuksien piirissä oleva merellinen asuinalue, joka tarjoaa monipuolisen ja vaihtelevan ympäristön.” [16, s. 3] Asemakaava-aluetta on tarkoitus rakentaa vaiheittain vuosina 2015-2025. [16]



Kuva 6.1 Asemakaava-alueen KJ-verkko.

Kuva 6.1 näyttää asemakaava-alueen KJ-verkon kaavion. Siniset suorakulmiot kuvaavat puistomuuntamoita ja punainen suorakulmio kuvaa kauko-ohjattavaa kaapeloitua erotinasamaa. Seuraavaksi esitellään vaiheet, joissa yleissuunnitelma laaditaan.

1. Asemakaava-alueen jako osiin. Asemakaava-alue jaetaan pienempiin osiin, joihin on helpompi suunnitella sähköverkkoa. Asemakaava-alue koostuu kolmesta osaluueesta: Eteläkärki, Pohjoiskärki ja Koivikko [16, s. 21]. Tätä jakoa käytetään sähköverkon suunnittelussa.

2. Vuosienergioiden laskeminen. Asemakaavan karttaan on piirretty rakennuksien ja tonttien pohjapiirustukset, joihin on merkattu rakennustyyppien lyhenteet ja kerrosalat. Kerrosala tarkoittaa rakennuksen kokonaispinta-alaa. Kerrosaloista saadaan laskettua rakennusten vuosienergiat käyttämällä taulukko 6.1:n mukaisia ominaiskulutusarvoja. Rakennustyyppit *AO* ja *AP* ovat omakotitaloja, ja niiden lämmitysmuodoksi oletetaan sähkölämmitys. Rivitalojen, asuinkerrostalojen ja palvelurakennusten lämmitysmuodoksi oletetaan kaukolämpö. Vuosienergioiden ja seuraavissa vaiheissa tehtävät laskennat ovat esitetty liitteessä D.

Taulukko 6.1 Rakennustyyppien ominaiskulutukset. Lyhenteiden selitykset ovat otettu ohjeesta [17].

| Lyhenne | Selitys | Ominaiskulutus kWh/(m ² *a) |
|---------|---|---|
| AO | Erillispientalojen korttelialue | 150 |
| AP | Asuinpientalojen korttelialue | 150 |
| AR | Rivitalojen ja muiden kytkettyjen asuinrakennusten korttelialue | 80 |
| AK | Asuinkerrostalojen korttelialue | 55 |
| AKR | Asuinkerrostalojen ja rivitalojen korttelialue | 55 |
| P | Palvelurakennusten korttelialue | 200 |
| PL | Lähipalvelurakennusten korttelialue | 200 |

3. Huipputehojen laskeminen. Rakennusten huipputehot saadaan jakamalla vuosienergiat 2 500 tunnin huipunkäyttöajalla.

4. Muuntopiirien jako ja muuntamoiden sijoittaminen. Asemakaava-alueen rakennukset jaetaan muuntopiireihin. Muuntopiirit pyritään valitsemaan siten, että siihen kuuluvien rakennusten yhteenlaskettu huipputeho olisi suunnilleen 500 kW. Käytännössä muuntopiirin huipputeho on kyseistä arvoa suurempi tai pienempi. Kuva 6.2 havainnollistaa muuntopiirien jakoa. Jokaiselle muuntopiirille valitaan yksi puistomuuntamo, joka on tyypiltään *sisältä hoidettava*. Puistomuuntamot sijoitetaan ensisijaisesti puisto- tai viheralueille. Jos tämä ei ole mahdollista, puistomuuntamot voidaan sijoittaa asuinrakennusten tonteille. Puistomuuntamoilla tulee olla riittävä suojaetäisyys ympäröiviin rakennuksiin.



Kuva 6.2 Muuntopiirien jako.

5. Kauko-ohjattavan erotinaseman sijoittaminen. Asemakaava-alueelle sijoitetaan yksi kauko-ohjattava erotinasema, jonka sijainti näkyy kuvassa 6.1. Se mallinnetaan kahdella EV:n määrittelemällä komponentilla, jotka ovat kaapeloitu erotinasema ja sisältä hoidettava puistomuuntamo. Kauko-ohjattavan erotinaseman investointikustannus lasketaan näiden kahden komponentin yksikköhinnan summasta.

6. Jakelumuuntajien valinta. Puistomuuntamoihin ja kauko-ohjattavaan kaapeloituun erotinasemaan valitaan 800 kVA:n jakelumuuntajat. Tämä on yleisesti käytetty nimellisteho kaupunkialueella sijaitseville jakelumuuntajille.

7. Maakaapelin valinta. Asemakaava-alueen maakaapeliksi valitaan Ahxamkw 185 mm². Kaivuolosuhde on asemakaava-alueella EV:n yksikköhintalistan määrittelyn mukaan *normaali* (23 110 €/km) ja *vaikea* (66 000 €/km). Näiden keskiarvo on 44 555 €/km, joka valitaan kaivukustannuksen yksikköhinnaksi. Asemakaava-aluetta syöttää Eeralantie –johtolähtö, joka jakautuu kahdeksi haaraksi kauko-ohjattavan erotinaseman kiskostossa. Varasyöttötilanteessa asemakaava-aluetta voidaan syöttää kolmesta muusta lähdöstä, jotka ovat Aaltokangas, Kahapuisto ja Hakkuritie.

8. Kuormituksen mallintaminen VTJ:ssä. Kun asemakaava-alueen KJ-verkko on digitoitu sähköiseen suunnitelmaan, voidaan VTJ:llä laskea asemakaava-aluetta syöttävän lähdön huipputeho. Muuntopiiriin kuuluvien sähkönkäyttäjien tiedot syötetään muuntamoihin, jolloin VTJ laskee huipputehon kuormituskäyrien perusteella. Muuntamoihin syötetään sähkönkäyttäjryhmä, asiakasmäärä ja vuosienenergia. Sähkönkäyttäjryhmät valitaan rakennustyyppin perusteella. Omakotialojen ja rivitalojen asiakasmäärät saadaan laskemalla tonttien tai rakennusten määrät asemakaavasta. Kerrostalojen asiakasmäärät saadaan jakamalla kerrostalojen rakennusalat 75 neliöllä. Eeralantie -johtolähdön alkupäässä virran suuruus on 155 A ja kuormitusaste on 47 %. Johtolähdön jännitteenalenema on 0,92 %.

9. Investointikustannusten laskenta. Asemakaava-alueen KJ-verkon investointikustannusten laskentatulokset näkyvät taulukossa 6.2. Investointikustannusten kokonais-

summa on noin 1 M€. Maakaapelin materiaali- ja kaivukustannukset muodostavat suurimman kustannuserän, joka on noin 461 000 €. Maakaapelin kaivukustannuksen yksikköhinnan valinta vaikuttaa oleellisesti investointikustannusten suuruuteen. Todelliset investointikustannukset tulevat olemaan pienempiä, koska sähköverkkoyhtiö pystyy jakamaan kaivukustannukset muiden toimijoiden kanssa, jotka osallistuvat kunnallistekniikan rakentamiseen.

Taulukko 6.2 Asemakaava-alueen KJ-verkon investointikustannukset.

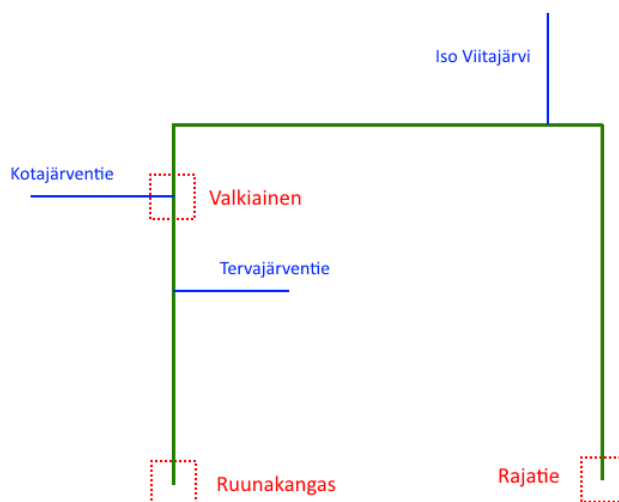
| Toimenpide | Määrä | Yksikköhinta | Määrä * Yksikköhinta |
|------------------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| Puistomuuntamo, sisältä hoidettava | 11 kpl | 33 990 €/kpl | 373 890 € |
| Kaapeloitu erotinasema | 1 kpl | 25 420 €/kpl | 25 420 € |
| Jakelumuuntajat, 800 kVA | 11 kpl | 14 430 €/kpl | 158 730 € |
| 150 - 185 maakaapeli | 5587,1 m | 37,94 €/m + 44,555 €/m | 460 912 € |
| Summa | | | 1 018 952 € |

6.2 Saneerauskohte: Hannuslenkki

Saneerauskohteeksi valittiin Hannuslenkki –niminen ilmajohtoverkko, joka sijaitsee pääosin Kiimingin haja-asutusalueella. Ilmajohtoverkko koostuu runkojohdosta, jonka pituus on noin 20 km. Runkojohdosta on liitetty muutama haarajohto, joista merkittävimmät ovat Iso Viitajärvi, Kotajärventie ja Tervajärventie. Runko- ja haarajohdot sijaitsevat osittain metsässä ja osittain tien varrella. Ilmajohtoverkon saneeraukselle tarkastellaan kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa runko- ja haarajohdot korvataan maakaapelilla ja toisessa vaihtoehdossa uudella ilmajohtolla. Runko- ja haarajohdot sijoitetaan kummassakin vaihtoehdossa tien varteen.

6.2.1 Maakaapeliverkko

Kuva 6.3 näyttää maakaapeliverkon saneerauksen jälkeen. Vihreä viiva kuvaa runkojohdtoa ja siniset viivat haarajohtoja. Maakaapeliverkossa on kolme kauko-ohjattavaa erotinasemaa, jota kuvaavat punaiset suorakulmiot. Seuraavaksi esitetään vaiheet, joissa maakaapeliverkon yleissuunnitelma laaditaan.



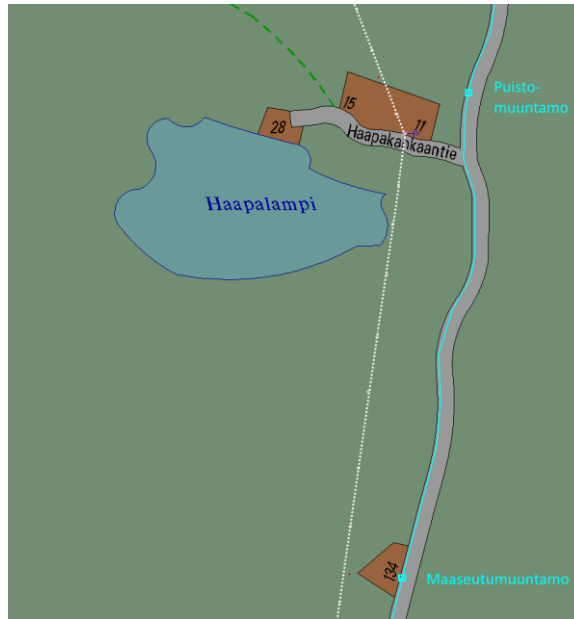
Kuva 6.3 Maakaapeliverkko saneerauksen jälkeen.

1. Jakelumuuntajien mitoitus. Jakelumuuntajien kuormitusasteet lasketaan VTJ:llä perustuen mitattuihin tuntitehoihin. Kuormitusasteella tarkoitetaan jakelumuuntajan huipputehoa suhteessa nimellistehoon. Jos kuormitusaste on pieni, jakelumuuntajat korvataan saman tehoisilla jakelumuuntajilla. Jos kuormitusaste on lähellä nimellistehoa, jakelumuuntajat korvataan suurempitehoisilla jakelumuuntajilla. Jakelumuuntajien kuormitusasteet sekä vanhat ja uudet nimellistehot näkyvät liitteessä E.

2. Vanhan sähköverkon purku. Saneerattavan sähköverkon ilmajohdot ja pylväsmuuntamot puretaan. Lisäksi puretaan pieni pätkä maakaapelia. Purkukustannusten yksikköhinnoiksi on oletettu seuraavia arvoja: ilmajohdolle 5,3 €/m, maakaapelille 8,2 €/m ja pylväsmuuntamoille 1 000 €/kpl.

3. Muuntamoiden sijoittaminen. Purettavat pylväsmuuntamot korvataan ulkoa hoidettavilla puistomuuntamoilla ja maaseutumuuntamoilla, jotka sijoitetaan tien varteen. Puistomuuntamot sisältävät keskijännitekiskoston, jolla voi luoda erotus- ja haaroituskohdan kaapeliverkkoon. Maaseutumuuntamot ovat halvempia ja ne eivät sisällä keskijännitekiskostoa. Niillä voi ainoastaan erottaa jakelumuuntajan maakaapeliverkosta. Puistomuuntamot sijoitetaan haaroituskohtiin. Muihin kohtiin puisto- ja maaseutumuuntamot sijoitetaan vaihtelevassa järjestyksessä, jota havainnollistaa kuva 6.4. Tällä keinolla saavutetaan kompromissi sähköverkon käytettävyyden ja investointikustannusten välillä.

4. Kauko-ohjattavien erotinasemien sijoittaminen. Maakaapeliverkkoon rakennetaan kaksi kauko-ohjattavaa erotinasemaa, jotka ovat Rajatie ja Valkiainen. Ne korvaavat vanhassa sähköverkossa olevat kauko-ohjattavat johtoerottimet. Erotinasemat Rajatie ja Valkiainen mallinnetaan kaapeloidulla erotinasemalla ja ulkoa hoidettavalla puistomuuntamolla. Kauko-ohjattava erotinasema Ruunakangas on jo vanhassa sähköverkossa olemassa, joten siitä ei lasketa investointikustannuksia.



Kuva 6.4 Maakaapeliverkko rakennetaan tien varteen. Puisto- ja maaseutumuuntamot sijoitetaan vaihtelevassa järjestyksessä maakaapeliverkkoon. Valkoinen viiva kuvaa vanhan ilmajohtoverkon kulkureittiä.

5. Maakaapelien valinta. Runkojohdon maakaapeliksi valitaan Ahxamkw 185 mm² ja haarajohtojen maakaapeliksi Ahxamkw 95 mm². Kaivuolosuhde on koko maakaapeliverkolle EV:n yksikköhintalistan määrittelyn mukaan *helppo*, jonka yksikköhinta on 10,12 €/m.

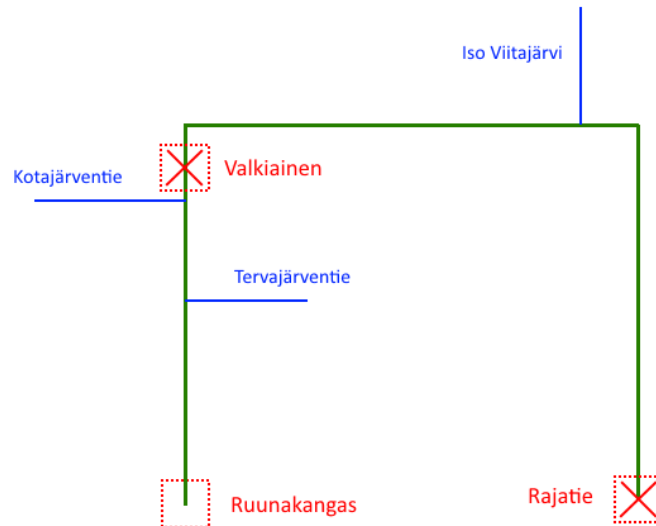
6. Investointikustannusten laskenta. Maakaapeliverkon investointikustannusten laskentatulokset näkyvät taulukossa 6.3. Investointikustannusten kokonaissumma on 1 774 055 €. Maakaapelin materiaali- ja kaivukustannukset ovat 1 190 299 €, mikä on 67 % kokonaissummasta.

Taulukko 6.3 Maakaapeliverkon KJ-verkon investointikustannukset.

| Toimenpide | Määrä | Yksikköhinta | Määrä * Yksikköhinta |
|----------------------------------|------------|-----------------------|----------------------|
| Maaseutumuuntamo | 10 kpl | 9 170 €/kpl | 91 700 € |
| Puistomuuntamo, ulkoa hoidettava | 9 kpl | 24 540 €/kpl | 220 860 € |
| Kaapeloitu erotinasema | 2 kpl | 25 420 €/kpl | 50 840 € |
| Muuntajat, 50 kVA | 11 kpl | 3 430 €/kpl | 37 730 € |
| Muuntajat, 100-160 kVA | 7 kpl | 4 920 €/kpl | 34 440 € |
| Muuntajat, 200 kVA | 1 kpl | 6 450 €/kpl | 6 450 € |
| 20 kV, 95 - 120 , maakaapeli | 5 811,3 m | 32,29 €/m + 10,12 €/m | 246 456 € |
| 20 kV, 150 - 185 , maakaapeli | 19 638,9 m | 37,94 €/m + 10,12 €/m | 943 843 € |
| KJ-ilmajohton purku | 23 041,3 m | 5,3 €/kpl | 122 119 € |
| KJ-maakaapelin purku | 197,2 m | 8,2 €/kpl | 1 617 € |
| Pylväsmuuntamon purku | 18 kpl | 1 000 €/kpl | 18 000 € |
| Summa | | | 1 774 055 € |

6.2.2 Ilmajohtoverkko

Kuva 6.5 näyttää ilmajohtoverkon saneerauksen jälkeen. Ilmajohtoverkossa on yksi kauko-ohjattava erotinasema ja kaksi kauko-ohjattavaa johtoerotinta. Kauko-ohjattavat johtoerottimet kuvataan punaisella suorakulmiolla, joka sisältää X-kirjaimen. Seuraavaksi esitellään vaiheet, joissa maakaapeliverkon yleissuunnitelma laaditaan.



Kuva 6.5 Ilmajohtoverkko saneerauksen jälkeen.

1. **Jakelumuuntajien mitoitus.** Sama kuin maakaapeliverkossa.
2. **Vanhan sähköverkon purku.** Sama kuin maakaapeliverkossa.



Kuva 6.6 Ilmajohtoverkossa kaikki pylväsmuuntamot korvataan maaseutumuuntamoilla.

3. **Muuntamoiden sijoittaminen.** Kaikki puretut pylväsmuuntamot korvataan maaseutumuuntamoilla. Maaseutumuuntamot sijoitetaan tien lähelle ja yhdistetään maakaapelilla runkojohtoon, jota havainnollistaa kuva 6.6.

4. Kauko-ohjattavien erottimien sijoittaminen. Vanhassa sähköverkossa on kaksi kauko-ohjattavaa johtoerotinta ja yksi kaapeloitu kauko-ohjattava erotinasema. Niitä käytetään uudessa sähköverkossa ja niille ei lasketa investointikustannuksia.

5. Käsinohjattavien erottimien sijoittaminen. Ilmajohtoverkkoon sijoitetaan 8 käsinohjattavaa erotinta. Neljä kappaletta sijoitetaan runkojohtoon ja toiset neljä kappaletta haarajohtoihin.

6. Johtojen ja maakaapelin valinta. Runkojohdoksi valitaan Al-132 ja haarajohdoksi Raven. Maaseutumuuntamot yhdistetään runkojohtoon maakaapelilla Ahxamkw 95 mm². Kaivuolosuhde on maakaapelille EV:n yksikköhintalistan määrittelyn mukaan *helppo*, jonka yksikköhinta 10,12 €/m.

7. Investointikustannusten laskenta. Ilmajohtoverkon investointikustannusten laskentatulokset näkyvät taulukossa 6.4. Investointikustannusten summa on 1 142 391 €. Al 132 ja Raven –johtojen yhteenlasketut materiaalikustannukset ovat 718 620 €, mikä on 63 % kokonaissummasta.

Taulukko 6.4 Ilmajohtoverkon KJ-verkon investointikustannukset.

| Toimenpide | Määrä | Yksikköhinta | Määrä * Yksikköhinta |
|---------------------------------|------------|-------------------|----------------------|
| Maaseutumuuntamo | 18 kpl | 9 170 € | 165 060 € |
| Muuntajat, 50 kVA | 11 kpl | 3 430 € | 37 730 € |
| Muuntajat, 100-160 kVA | 7 kpl | 4 920 € | 34 440 € |
| 20 kV ilma, Raven | 4 906,3 m | 24,61 € | 120 744 € |
| 20 kV ilma, Al 132 tai suurempi | 19 975,8 m | 29,93 € | 597 876 € |
| 20 kV, Johtoerotin, kevyt | 8 kpl | 3 530,00 € | 28 240 € |
| 20 kV, 95 - 120, maakaapeli | 344,1 m | 32,29 € + 10,12 € | 14 595 € |
| KJ-ilmajohdon purku | 23 428,6 m | 5,3 € | 124 171 € |
| KJ-maakaapelin purku | 187,2 m | 8,2 € | 1 535 € |
| Pylväsmuuntamon purku | 18 kpl | 1 000 € | 18 000 € |
| Summa | | | 1 142 391 € |

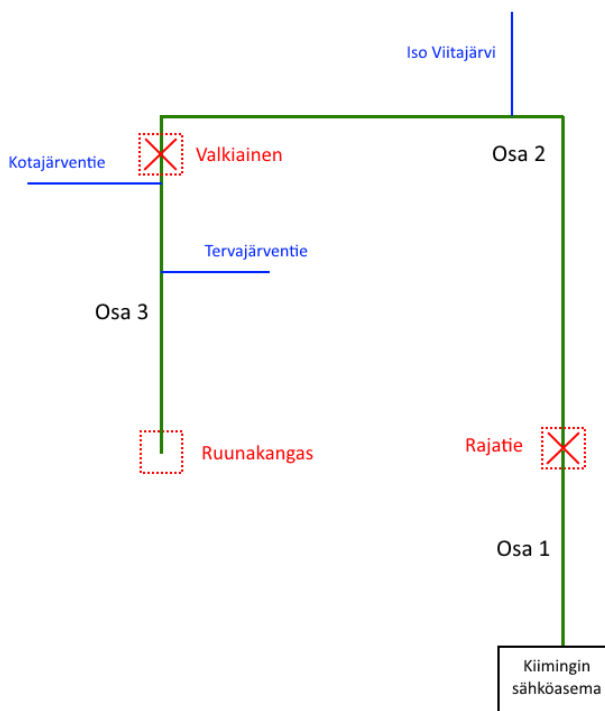
6.3 Saneerauskohteen elinkaarikustannukset

Seuraavaksi vertaillaan saneerauskohteen maakaapeliverkon ja ilmajohtoverkon elinkaarikustannuksia. Elinkaarikustannuksiin lasketaan investointikustannukset, KAH kustannukset, viankorjauskustannukset ja kunnossapitokustannukset.

6.3.1 KAH kustannukset

Ilmajohtoverkko jaetaan KAH kustannusten laskentaa varten kolmeen osaan, jotka näkyvät kuvassa 6.7. Osa 1 on johtolähdön alkuosa, joka alkaa Kiimingin sähköasemalta ja päättyy kauko-ohjattavaan johtoerottimeen Rajatie. Osa 2 on kauko-ohjattavien johtoerottimien Rajatien ja Valkiaisen välillä oleva johto-osuus sisältäen haarajohdon Iso Viitajärvi. Osa 3 on kauko-ohjattavan johtoerottimen Valkiaisen ja kauko-ohjattavan erotinaseman Ruunakankaan välillä oleva johto-osuus sisältäen haarajohdot Kotajärven-

tie ja Tervajärventie. Laskennan helpottamiseksi oletetaan, että osien pituudet ovat ilma-johto- ja maakaapeliverkolle samat. KAH kustannusten laskennassa tarkastellaan kolme eri tilannetta.



Kuva 6.7 Tarkasteltavan verkon jako osiin.

1. Tilanne: Osa 1 on vioittunut

Kun johtolähdön alkuosa on vioittunut, sähkönjakelu keskeytyy koko johtolähdölle, kunnes vioittunut johto-osuus saadaan erotettua kauko-ohjattavilla erottimilla. Vikapainkan taakse jäävää johto-osuutta, johon sisältyvät osa 2 ja osa 3, syötetään varayhteyden kautta, kunnes vika saadaan korjattua. KAH kustannuksia ei tarvitse laskea tälle tilanteelle, koska osa 1 pysyy ennallaan ja sen KAH kustannukset ovat siten samat kummallakin saneerausvaihtoehdolle.

2. Tilanne: Osa 2 on vioittunut

Osassa 2 esiintyvä vika aiheuttaa sähkönjakelun keskeytyksen koko johtolähdölle, kunnes osa 2 saadaan erotettua kauko-ohjattavilla erottimilla. Näiden kytkentätoimenpiteiden oletetaan kestävän 9 minuuttia. Kytkentätoimenpiteiden ansiosta sähköä saadaan palautettua johtolähdön alkuosalle ja osalle 3. Osaa 3 syötetään varayhteyden kautta, joka ei näy kuvassa 6.7. Seuraavaksi sähköasentajat rajaavat osassa 2 esiintyvän vian yhdelle erotinvälille ja ryhtyvät viankorjaustoimenpiteisiin. Tässä tarkastelussa oletetaan, että koko osa 2 on kahden tunnin ajan sähköttömänä. KAH kustannukset kertyvät 9 minuutin ajan koko johtolähdölle ja lisäksi kahden tunnin ajan osalle 2. Tarkastelussa käytetyt kytkentäajat perustuvat OESJ:n luotettavuusparametreihin (liite B).

3. Tilanne: Osa 3 on vioittunut

Tilanne on analoginen tilanteelle 2. KAH kustannukset kertyvät 9 minuutin ajan koko johtolähdölle ja lisäksi kahden tunnin ajan osalle 3.

KAH kustannukset lasketaan yhtälöllä (3.13) ja laskennassa käytetyt parametrit ja laskentatulokset näkyvät Liitteessä F. Yhtälö (3.13) laskee vain odottamattomien keskeytysten KAH kustannukset. Suunniteltujen keskeytysten sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen KAH kustannukset voidaan jättää tarkastelusta pois, koska ne ovat merkittävästi pienempiä kuin odottamattomien keskeytysten KAH kustannukset. Tuloksena saadaan, että vuosittaiset KAH kustannukset vuoden 2014 rahanarvossa ovat maakaapeliverkolle 1 127 € ja ilmajohtoverkolle 5 637 €. Ilmajohtoverkon KAH kustannukset ovat viisinkertaisia verrattuna maakaapeliverkkoon, mikä johtuu siitä, että sen vikataajuus on viisinkertainen verrattuna maakaapeliverkon vikataajuuteen.

6.3.2 Viankorjauskustannukset

Viankorjauskustannukset sisältävät viankorjaustoimenpiteiden työ- ja materiaalikustannukset. Viankorjauskustannukset lasketaan yksikköhinnoilla, jotka perustuvat OESJ:n luotettavuusparametreihin (liite B). Maakaapeliverkon ja ilmajohtoverkon viankorjauskustannusten laskentatulokset näkyvät taulukossa 6.5. Maakaapelin vikataajuus on pienempi verrattuna ilmajohtoon, mutta sen viankorjauskustannuksen yksikköhinta on suurempi kuin ilmajohtodolla. Ilmajohtoverkon vuosittaiset viankorjauskustannukset ovat yli puolitoista kertaa suuremmat verrattuna maakaapeliverkkoon.

Taulukko 6.5 Maakaapeli- ja ilmajohtoverkon viankorjauskustannukset.

| | Maakaapeliverkko | Ilmajohtoverkko |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|
| Pituus | 25,450 km | 24,883 km |
| Vikataajuus | 0,01 kpl/(km·a) | 0,05 kpl/(km·a) |
| Vikamäärä | 0,255 kpl/a | 1,244 kpl/a |
| Viankorjauskustannuksen yksikköhinta | 3 500 €/kpl | 1 200 €/kpl |
| Vuosittaiset viankorjauskustannukset | 891 €/a | 1 493 €/a |

6.3.3 Kunnossapitokustannukset

Ilmajohdon kunnossapitokustannuksiin sisältyvät muun muassa kuntotarkastukset ja johtokadun raivaukset. Maakaapeli on lähes huoltovapaa, ja sen tähden sen kunnossapitokustannukset ovat erittäin pienet. Kunnossapitokustannukset lasketaan yksikköhinnoilla, jotka perustuvat OESJ:n luotettavuusparametreihin (liite B). OESJ:n luotettavuusparametreissa löytyy ilmajohtoverkon kunnossapitokustannuksen yksikköhinta vain metsälle (150 €/([km·a])) ja pellolle (30 €/([km·a])), mutta ei tien varrelle. Tässä tarkastelussa oletetaan, että tien varrella kulkevan ilmajohtoverkon yksikköhinta on vähän suurempi kuin pellolla kulkevan ilmajohtoverkon yksikköhinta. Tien varrella kulkevan ilmajohdon kunnossapidon yksikköhinnaksi valitaan 50 €/([km·a]). Maakaapeliverkon ja

ilmajohtoverkon kunnossapitokustannusten laskentatulokset ovat esitetty taulukossa 6.6. Ilmajohtoverkon vuosittaiset kunnossapitokustannukset ovat lähes viisinkertaisia verrattuna maakaapeliverkkoon.

Taulukko 6.6 Maakaapeli- ja ilmajohtoverkon kunnossapitokustannukset.

| | Maakaapeliverkko | Ilmajohtoverkko |
|---------------------------------------|------------------|-----------------|
| Pituus | 25,450 km | 24,883 km |
| Kunnossapitokustannuksen yksikköhinta | 10 €/km·a | 50 €/km·a |
| Vuosittaiset viankorjauskustannukset | 255 €/a | 1 244 €/a |

6.3.4 Elinkaarikustannusten vertailu

Edellisissä alaluvuissa laskettiin KAH kustannusten, viankorjauskustannusten ja kunnossapitokustannusten vuosittaiset kustannukset. Vuosittaiset kustannukset saadaan muutettua tarkasteluaikavälin nykyarvon summaksi kertomalla ne jaksollisten suoritus-ten diskonttaustekijällä, joka lasketaan yhtälöllä (3.4). Kun tarkasteluaikaväli on 40 vuotta ja laskentakorkokanta on 5 %, saadaan jaksollisten suoritus-ten diskonttausteki-jäksi 17,159.

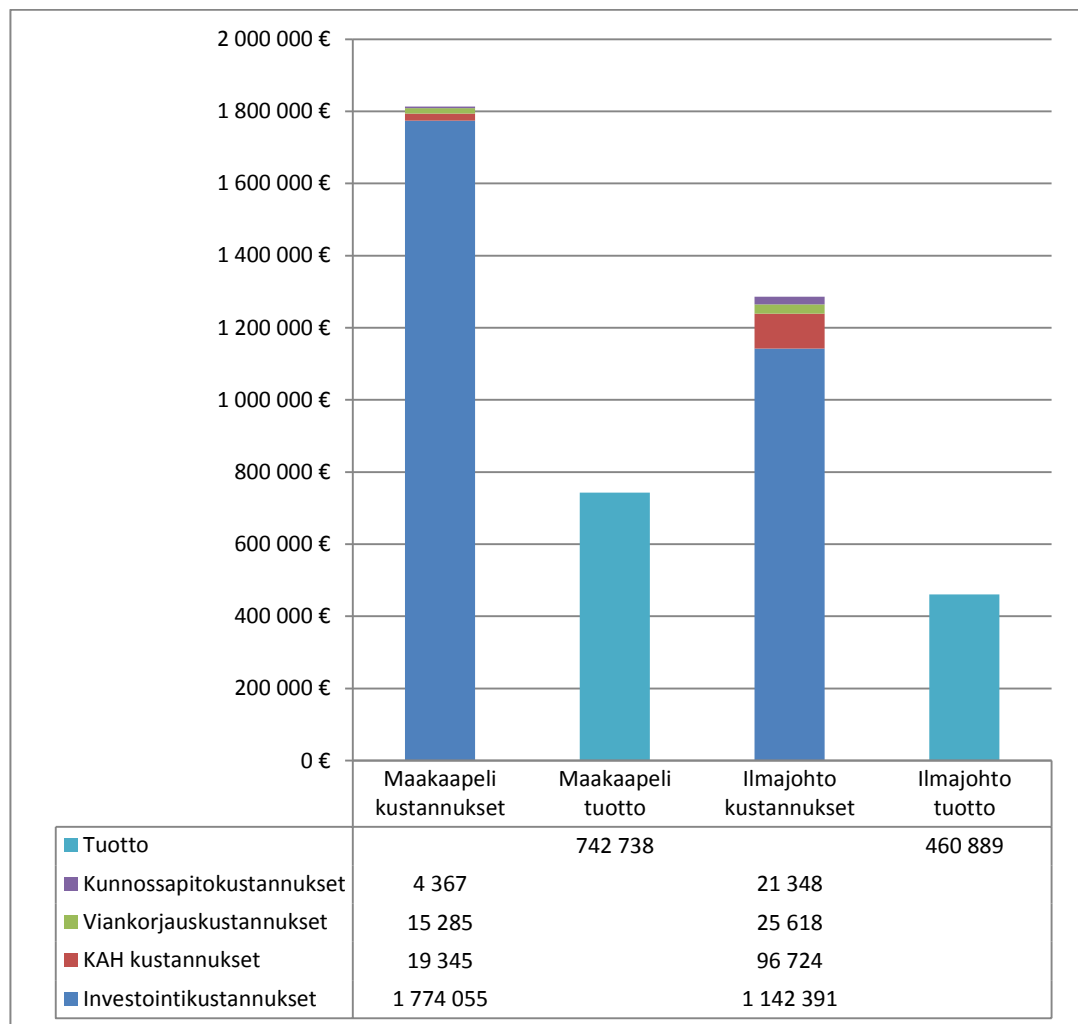
Maakaapeliverkon ja ilmajohtoverkon elinkaarikustannukset ovat esitetty kuvassa 6.8. Maakaapeliverkon elinkaarikustannukset ovat 1 813 051 € ja ilmajohtoverkon elinkaa-rikustannukset 1 286 082 €. Maakaapeliverkon elinkaarikustannukset ovat yli 500 000 €:a suurempia verrattuna ilmajohtoverkon elinkaarikustannuksiin. Maakaapeliverkon elinkaarikustannukset koostuvat lähes kokonaan investointikustannuksista (98 %) ja muiden kustannusten osuus on erittäin pieni. Ilmajohtoverkossa investointikustannusten osuus on pienempi kuin maakaapeliverkossa, mutta edelleen korkea (89 %). Ilmajohto-verkon KAH kustannukset ovat lähes 100 000 € ja ne ovat merkittävästi suuremmat kuin viankorjauskustannukset tai kunnossapitokustannukset.

Elinkaarikustannusten lisäksi on mielenkiintoista tarkastella regulaation sallimaa tuottoa 40 vuoden ajalle. Tuotto lasketaan JHA:sta, josta saadaan NKA vähentämällä vuosittai-set tasapoistot. Vuosittaisille NKA:oilte lasketaan 4 % tuotto, joka muutetaan 5 % las-kentakorolla nykyarvoksi. Maakaapeliverkon tuotoksi saadaan 742 738 € ja ilmajohto-verkon tuotoksi 460 889 €. Maakaapeliverkon tuotto on noin 280 000 € suurempi kuin ilmajohtoverkon tuotto.

Maakaapeli- ja ilmajohtoverkon elinkaarikustannuksiin vaikuttaa myös muita tekijöitä, joita ei tässä tarkastelussa oteta huomioon. Osa ilmajohtoverkon kulkureiteistä on mutkittele-vaa tietä, jolloin ilmajohtoverkon rakentamisessa joudutaan käyttämään enemmän haruksia ja erikoispylväitä. Tämä nostaisi ilmajohtoverkon todellisia investointikustannuksia. Maa-kaapeliverkossa esiintyy suuria maasulkuvirtoja, mikä saattaa edellyttää hajautetun tai keskitetyn maasulkuvirran kompensointilaitteiston hankkimista, mikä nostaisi investoin-tikustannuksia.

Maakaapeliverkon etu verrattuna ilmajohtoverkkoon on se, että se on säävarma. Ilmajohtoverkko on altis tuulen, myrskyn ja lumikuorman aiheuttamille vioille. Tien varrella kulkevan ilmajohtoverkon vikataajuus on pienempi kuin metsässä kulkevan ilmajohtoverkon, koska puut kaatuvat vain yhdeltä puolelta. Lisäksi viat pystytään nopeammin paikantamaan ja korjaamaan. Yksi haittapuoli on se, että tien varrella sijaitseva ilmajohto voi kaatua myrskyn seurauksena tielle ja aiheuttaa suuren vaaran ajoneuvoille. Lisäksi tien varrella olevat puut kasvavat nopeammin kuin metsässä, koska ne saavat enemmän valoa. Siten johtokadun kasvillisuutta on säännöllisesti raivattava.

Ilmajohtoverkon valintaa puoltaa se, että sen elinkaarikustannukset ovat pienemmät kuin maakaapeliverkon elinkaarikustannukset. Toisaalta, tässä tarkastelussa ei ole huomioitu kaikkia tekijöitä, jotka vaikuttavat elinkaarikustannuksiin. Maakaapeliverkolle ei ole huomioitu maasulkuvirran kompensointilaitteiston hankintaa. Ilmajohtoverkon investointikustannukset saattavat olla todellisuudessa korkeampia, koska osa siitä rakennettaisiin mutkittelevan tien varrelle. Maakaapeliverkon valintaa puoltavat säävarmuus ja suurempi tuotto. Kumpi vaihtoehto valitaan, riippuu verkkoyhtiön strategiasta.



Kuva 6.8 Maakaapeli- ja ilmajohtoverkon elinkaarikustannusten nykyarvo.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET SOVELLUKSISTA

Tässä luvussa esitetään johtopäätöksiä ja parannusehdotuksia testattaville sovelluksille.

7.1 Trimble CPP:n käyttö yleissuunnittelussa

CPP on NIS:n sovellus, joka laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset yksikköhintalistalla. Tässä työssä tarkasteltiin CPP:n soveltuvuutta yleissuunnitelmien KJ-verkon rakennuskustannusten laskentaan. CPP:n toimintaa ja käytettävyyttä testattiin siten, että sillä laskettiin rakennuskustannukset yhdelle asemakaava-alueen uudisrakennuskohteelle ja yhdelle haja-asutusalueen saneerauskohteelle, jolle tarkasteltiin kaksi eri vaihtoehtoa. Rakennuskustannukset laskettiin EV:n vuoden 2014 yksikköhinnoilla.

CPP:llä on helppo luoda hintalistoja ja niiden parametreja on helppo muokata. CPP:llä voi luoda useampia hintalistoja eri käyttötarkoituksia varten. Asemakaava-alueen ja saneerauskohteen rakennuskustannukset laskettiin eri hintalistoilta, joiden parametreissa oli pieniä eroja. Esimerkiksi kaivukustannuksen yksikköhinnalle valittiin eri arvo. Useamman hintalistan käyttö mahdollistaisi muun muassa sen, että yleissuunnitelman rakennuskustannuksia voisi laskea ja verrata EV:n ja urakoitsijan yksikköhintalistoilta.

CPP laskee rakennuskustannukset verkkokomponenteille, jotka kuuluvat johonkin *Työhön*. Tämä toiminto on hyödyllinen, koska käyttäjä voi itse määritellä tarkasti, mitkä verkkokomponentit sisältyvät rakennuskustannusten laskentaan ja mitkä eivät. Sähköiseen suunnitelmaan voi luoda useamman *Työn* ja siten on mahdollista tarkastella sähköverkon eri osien kustannuksia. Esimerkiksi on mahdollista tarkastella runkojohdon ja haarajohdon rakennuskustannuksia erikseen. Toisaalta useamman *Työn* käyttö on työläämpää, koska silloin pitää siirtyä eri *Töiden* välillä. Jos ei ole erityistä syytä useamman *Työn* käyttöön, sähköiseen suunnitelmaan kannattaa luoda vain yksi *Työ*. CPP näyttää rakennuskustannusten laskentatulokset selkeästi, jossa näkyvät toimenpiteet ja niiden kustannukset. Laskentatulokset voidaan tulostaa Excel tiedostoon, josta tietoja on helppo kopioida ja muokata muuhun käyttöön.

Tarkasteltavan asemakaava-alueen sähköverkko oli suppea ja sisälsi vain kolme erityyppistä verkkokomponenttia ja yhden johdinpoikkipinnan. Rakennuskustannukset oli helppo laskea CPP:llä ja Excelillä. Koska sähköverkko oli suppea, verkkokomponenttien määrät ja johtimien reittipituudet oli helppo laskea manuaalisesti sähköisestä suunnitelmasta ja syöttää Exceliin. CPP:stä ei ollut asemakaavan tapauksessa merkittävää hyötyä verrattuna Exceliin. CPP:n rinnalla Exceliä käytettiin asemakaava-alueen kuormituksen laskemiseen ja muuntamoiden mitoittamiseen.

Tarkasteltavassa saneerauskohteessa sähköverkko oli huomattavasti laajempi verrattuna asemakaava-alueen kohteeseen. Saneerauskohteessa oli myös enemmän erityyppisiä verkkokomponentteja ja johdinpoikkipintoja. Työmäärää lisäsi se, että rakennuskustannukset laskettiin kahdelle eri vaihtoehdolle, maakaapeliverkolle ja ilmajohtoverkolle. CPP:llä oli helppo laskea kummankin vaihtoehdon rakennuskustannukset, ja niitä pystyttiin jälkeenpäin vertailemaan. Saneerauskohteen rakennuskustannusten laskenta olisi ollut myös Excelillä mahdollista, mutta se olisi ollut huomattavasti verrattuna CPP:hen, koska saneerauskohteen sähköverkko oli laajempi ja sisälsi enemmän erityyppisiä verkkokomponentteja. CPP:stä oli saneerauskohteen tapauksessa merkittävää hyötyä verrattuna Exceliin. CPP:n rinnalla Exceliä käytettiin erilaisten tietojen tallentamiseen, esimerkiksi sillä vertailtiin kummankin vaihtoehdon rakennuskustannuksia.

Eräs toinen CPP:n hyöty verrattuna Exceliin on se, että sillä on helpompi tehdä jälkeenpäin muutoksia suunnitelmaan, kuten esimerkiksi verkkokomponenttien lisääminen tai poistaminen. Kun muutostoimenpiteet on tehty sähköiseen suunnitelmaan, CPP laskee heti päivitetyn rakennuskustannuksen. Jos käytettäisiin Exceliä, pitäisi muutettavien verkkokomponenttien määrät manuaalisesti laskea ja syöttää Exceliin, mikä on hitaampaa ja työläämpää.

Yhteenvedona voidaan todeta, että CPP on käyttökelpoinen työkalu yleissuunnitelmien KJ-verkon rakennuskustannusten laskentaan yksikköhintalistalla. CPP mahdollistaa tarkemman ja nopeamman rakennuskustannusten laskennan verrattuna Exceliin. CPP:n hyöty verrattuna Exceliin on sitä suurempi, mitä laajempi tarkasteltava sähköverkko on ja mitä enemmän erityyppisiä verkkokomponentteja ja johdinpoikkipintoja siinä on. CPP ei kuitenkaan poista tarvetta käyttää Exceliä kokonaan. Exceliä joudutaan käyttämään CPP:n rinnalla suunnittelun tueksi ja erilaisten tietojen tallentamiseen.

7.2 Trimble CPP:n käyttö kohdesuunnittelussa

CPP:stä voisi olla hyötyä myös OESJ:n kohdesuunnitteluun. Kohdesuunnittelijat tekevät sähköiset suunnitelmat NIS:issä, mutta laskevat rakennuskustannusarvion HeadPower Työnohjaus sovelluksella. Kohdesuunnittelijat laskevat manuaalisesti verkkokomponenttimäärät ja tarvikemäärät, ja syöttävät nämä tiedot Työnohjaus sovellukseen. Verkkokomponenttien ja tarvikemäärien manuaalinen laskenta on työlästä. CPP:n käyttö kohdesuunnittelussa voisi vähentää manuaalista laskentatyötä. Lisäksi CPP:n ja Työnohjaus sovelluksen välille on mahdollista asentaa rajapinta. CPP:n soveltuvuutta OESJ:n kohdesuunnitteluun ei tarkasteltu tässä työssä ja se vaatisi erillisen selvityksen.

7.3 Trimble NIM

NIM on NIS:n investointien hallinta –sovellus. NIM:in toimintaa testattiin luomalla siihen kuvitteellisia suunnitelmia tai investointeja ja soveltamalla niihin sovelluksen toimintoja. NIM:illä voidaan aikatauluttaa, budjetoida ja tarkastella tunnuslukuja inves-

toinneille. Nämä tiedot liitetään sähköisiin suunnitelmiin. Silloin sähköiset suunnitelmat ja kaikki investointien hallintaan tarvittavat tiedot sijaitsevat samassa järjestelmässä, eli NIS:issä. Tämä helpottaa investointien hallintaa, koska tietoja ei tarvitse ylläpitää eri järjestelmissä tai eri tiedostoissa. NIM tarjoaa hyvät toiminnot investointisuunnitelman luomiseen ja ylläpitoon. Vuosiohjelma antaa hyvän yhteenvedon yksittäisistä investoinneista ja investointien kokonaistilanteesta. Projektityypeille tai urakointialueille voidaan asettaa vuosikohtaisia Tavoitteita. Tavoitteita voidaan verrata toteutuneisiin ka suunniteltuihin investointeihin. Myös muut osastot pystyvät tarkastelemaan yksittäisiä investointeja investointisuunnitelmaa ja antamaan niihin palautetta.

NIM näyttää erilaisia teknisiä ja taloudellisia tunnuslukuja investoinneille. Tunnusluku-
jen avulla investointeja voidaan verrata toisiinsa ja priorisoida. Investoinnin tunnusluvut päivittyvät ja tarkentuvat, kun investointi etenee suunnitteluprosessissa. Lopuksi tunnusluvut näyttävät toteutuneita arvoja. Tunnusluvut antavat siis ajankohtaisen tilannekuvan investoinneista ja mahdollistavat hyvän seurannan. NIM:illä on myös mahdollista verrata investointien ennakoituja ja toteutuneita tunnuslukuja.

NIM:in kokonaishyöty on suurempi, jos siihen integroidaan koko suunnitteluprosessi, eli yleissuunnittelu ja kohdesuunnittelu. OESJ:n yleissuunnittelu on helppo integroida NIM:iin, ja yleissuunnitelmien rakennuskustannukset voidaan laskea CPP:llä. OESJ:n kohdesuunnittelijat tekevät nykyään kohdesuunnitelmien sähköiset suunnitelmat NIS:illä, mutta laskevat niiden rakennuskustannusarviot HeadPower Työnohjaus sovelluksella. Kohdesuunnitelmien rakennuskustannusarviot ja toteutuneet rakennuskustannukset voisivat rajapinnan kautta siirtyä Työnohjaus sovelluksesta NIM:iin. Toinen vaihtoehto voisi olla, että myös kohdesuunnittelijat ottaisivat CPP:n käyttöön. CPP:n soveltuvuus OESJ:n kohdesuunnittelun käyttöön vaatisi erillisen selvityksen. Tässä työssä NIM:in käyttöä pystyttiin testaamaan vain rajallisesti, koska testattavassa versiossa ei ollut rajapintaa Työnohjaus sovellukseen. Siten tunnuslukujen siirtymistä Työnohjaus sovelluksessa olevista kohdesuunnitelmista NIM:iin ei voitu testata.

Yhteenvetona voidaan todeta, että NIM mahdollistaa kokonaisvaltaisen investointien hallinnan ja seurannan koko investoinnin elinkaaren ajalta. Kaikki investointien hallintaan tarvittava tieto sijaitsee yhdessä järjestelmässä, mikä helpottaa investointien suunnittelua ja seuranta. Investointeja voidaan vertailla ja priorisoida monilla tunnusluvuilla. NIM:in kokonaishyöty on suurempi, jos siihen integroidaan yleissuunnittelun lisäksi myös kohdesuunnittelu. Kohdesuunnittelun integroiminen vaatisi rajapinnan asentamista HeadPower Työnohjaus sovellukseen.

7.4 HeadPower Yleissuunnittelu –toiminto

Yleissuunnittelu –toiminto on HeadPower Työnohjaus sovellukseen liitettävä sovellus, jolla voidaan hallita yleissuunnitelmia. Yleissuunnittelu –toimintoa testattiin luomalla siihen kuvitteellisia yleissuunnitelmia ja soveltamalla sovelluksen toimintoja niihin.

Yleissuunnitelmiin asetetaan budjetti ja aikataulu ja muuta täydentävää tietoa. Yleissuunnittelu –toiminnossa on rajatusti valikkoja, välilehtiä ja asetuksia, ja sisältää vain tärkeimmät toiminnot. Tämän ansiosta Yleissuunnittelu –toiminto on selkeä ja helppo-käyttöinen. Yleissuunnitelmia on helppo luoda, ja niiden tietoja on helppo muokata. Yleissuunnitelmien listaus antaa hyvän yhteenvedon yleissuunnitelmien tärkeimmistä tiedoista. Listauksen sisältöä on helppo rajata monilla hakukriteereillä. Yleissuunnitelmia voidaan tarkastella aikajana –näkyssä, mikä antaa hyvän kokonaiskuvan yleissuunnitelmien aikatauluista. Yleissuunnittelu –toiminnolla on mahdollista luoda ja ylläpitää investointisuunnitelmaa. Muut henkilöt ja osastot pystyvät helposti näkemään ja antamaan palautetta investointisuunnitelmaan ja yksittäisiin yleissuunnitelmiin.

Yleissuunnittelu –toiminnolla on mahdollista liittää Työnohjaus sovelluksen verkostotyöt yleissuunnitelmiin. Tämä auttaa hahmottamaan, mihin suurempaan kokonaisuuteen, eli yleissuunnitelmaan, yksittäiset verkostotyöt liittyvät. Kun verkostotyöt liitetään yleissuunnitelmiin, on mahdollista verrata yleissuunnitelmien ja verkostotöiden aikataulua sekä yleissuunnitelmien budjettia verkostotöiden toteutuneisiin rakennuskustannuksiin. Yleissuunnittelu –toiminto ei tarvitse rajapintaa taloustietojärjestelmän välillä, koska se saa rakennuskustannustiedot Työnohjaus sovelluksesta, jolla hyväksytään verkostotöiden laskut.

Yleissuunnittelu –toiminnolla ei voida tarkastella yleissuunnitelmien sähköisiä suunnitelmia, jotka sijaitsevat NIS:issä. Yleissuunnittelu –toimintoon voidaan lisätä liitteitä, joissa voisi olla tietoa sähköisestä suunnitelmasta pdf-tiedostoina. Yleissuunnitelmiin voidaan kirjata myös sähköisen suunnitelman nimen, jotta sen voisi löytää NIS:istä helposti.

Yleissuunnittelu –toiminto ja CPP sopivat hyvin yhteen. CPP:llä voi laskea yleissuunnitelmien rakennuskustannukset, jotka voidaan syöttää Yleissuunnittelu –toimintoon yleissuunnitelmien budjeteiksi. Näiden sovellusten välille voi asentaa myös rajapinnan, jolloin tietoa ei tarvitse manuaalisesti siirtää sovellusten välillä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että HeadPower Yleissuunnittelu –toiminto on helppo-käyttöinen investointien hallinta -sovellus. Sillä on helppo budjetoida ja aikatauluttaa yleissuunnitelmia sekä tiedottaa niistä muille osastoille. Yleissuunnitelmia on helppo verrata verkostotöihin, koska ne sijaitsevat samassa järjestelmässä. Yleissuunnittelu-toiminnolla ei voida tarkastella sähköisiä suunnitelmia.

7.5 Parannusehdotukset Trimble CPP:hen

1. Ongelma: Kun johto-osaa siirretään *Työn kohteet* –valikossa *Työhön* tai *Työstä* pois, johto-osaan kuuluvat alkiot eivät siirry automaattisesti mukana. Alkiot joudutaan yksitellen valitsemaan ja siirtämään, mikä on työlästä. Parannusehdotus: Kun johto-osaa

siirretään manuaalisesti *Työn kohteet* –valikossa, johto-osaan kuuluvat alkiot siirtyisivät automaattisesti mukana.

2. Ongelma: Kun verkkokomponentteja tarkastellaan *Työn kohteet* –näkyvässä, valitut verkkokomponentit näkyvät sinisellä värillä kartalla. Mutta pieniä verkkokomponentteja (esim. pientä johto-osaa) on vaikea löytää kartasta. Parannusehdotus: *Työn kohteet* –valikossa voisi olla zoomaus –toiminto, joka näyttäisi pienet verkkokomponentit selvemmin kartalla.

3. Ongelma: Kun master verkon johtoa puretaan, toimenpidettä ei voi myöhemmin peruttaa. Parannusehdotus: Master verkon purettua verkkoa pitäisi pystyä palauttamaan sen entiseen tilaan.

7.6 Parannusehdotukset HeadPower Yleissuunnittelu – toimintoon

1. Ongelma: Yleissuunnitelman budjetin voi jakaa vapaasti eri kuukausille. Jos kuukausijakoa haluaa muuttaa jälkepäin, pitää budjetit syöttää kaikille kuukausille uudestaan, mikä on työlästä.

Parannusehdotus: Budjetin kuukausijakoa pitäisi pystyä muuttamaan siten, että tiedot päivitetään vain niille kuukausille, joihin halutaan tehdä muutos. HeadPowerin tuotepäällikkö kertoi, että tämä ongelma on havaittu ennestään ja se tullaan korjaamaan.

2. Ongelma: Yleissuunnitelman budjetti jaetaan kuukausitarkkuudella. Samoin aikajana –kuvaajat ja budjetin/toteuman pylväsdiagrammi näytetään kuukausitarkkuudella. Kuukausitason tarkastelu on yleissuunnittelutasolla liian pieni aikaväli.

Parannusehdotus: Yleissuunnitelman budjetin tarkasteluaikaväli kannattaisi muuttaa vuodeksi. Samoin aikajana –kuvaajan ja budjetin/toteuman pylväsdiagrammin aikaväli kannattaisi muuttaa vuodeksi. Jos aikajana –kuvaajat näkyisivät vuositarkkuudella, yhteen ikkunaan mahtuisi huomattavasti pidempi tarkasteluaikaväli kuin viisi vuotta. Toinen vaihtoehto voisi olla, että käyttäjä voisi jostain valita, haluaako jakaa budjetin kuukausi- vai vuositarkkuudella. Samoin se voisi jostain valita, haluaako se tarkastella aikajana –kuvaajaa tai budjetin/toteuman pylväsdiagrammia kuukausi- tai vuositarkkuudella.

7.7 Sovellusten hankintavaihtoehdot

Tarkasteltavaa kolme sovellusta voidaan käyttää eri yhdistelmissä, joista seuraavaksi esitellään seitsemän vaihtoehtoa.

1. OESJ ei hanki yhtään sovellusta

- Yleissuunnittelu ei muuta toimintatapoja
- Yleissuunnitelmien rakennuskustannukset lasketaan kahdella järjestelmällä, mikä on työlästä
- Yleissuunnitelmien hallinta on hankalaa, koska yleissuunnitelmat sijaitsevat eri järjestelmissä ja eri tiedostoissa

2. OESJ hankkii CPP:n

- CPP helpottaisi yleissuunnitelmien rakennuskustannusten laskentaa
- Yleissuunnitelmien hallintaan liittyvät ongelmat pysyisivät ennallaan
- Kohdesuunnittelu voisi käyttää CPP:tä

3. OESJ hankkii NIM:in

- Yleissuunnitelmien rakennuskustannukset lasketaan kahdella järjestelmällä, mikä on työlästä
- Toteutussuunnitelmien rakennuskustannukset voisivat Työnohjaus sovelluksesta siirtyä NIM:iin rajapinnan kautta
- Yleissuunnitelmien rakennuskustannuksia voisi verrata toteutussuunnitelmien rakennuskustannuksiin
- NIM parantaisi yleissuunnitelmien hallintaa ja tiedottamista muille osastoille

4. OESJ hankkii Yleissuunnittelu –toiminnon

- Yleissuunnitelmien rakennuskustannukset lasketaan kahdella järjestelmällä, mikä on työlästä
- Yleissuunnitelmien rakennuskustannuksia voisi verrata toteutussuunnitelmien rakennuskustannuksiin
- Yleissuunnittelu -toiminto parantaisi yleissuunnitelmien hallintaa ja tiedottamista muille osastoille

5. OESJ hankkii CPP:n ja NIM:in

- CPP helpottaisi yleissuunnitelmien rakennuskustannusten laskentaa
- Toteutussuunnitelmien rakennuskustannukset voisivat Työnohjaus sovelluksesta siirtyä NIM:iin rajapinnan kautta
- Yleissuunnitelmien rakennuskustannuksia voisi verrata toteutussuunnitelmien rakennuskustannuksiin
- NIM parantaisi yleissuunnitelmien hallintaa ja tiedottamista muille osastoille
- Kohdesuunnittelu voisi käyttää CPP:tä

6. OESJ hankkii CPP:n ja Yleissuunnittelu –toiminnon

- CPP helpottaisi yleissuunnitelmien rakennuskustannusten laskentaa
- Yleissuunnitelman rakennuskustannukset voitaisiin manuaalisesti syöttää Yleissuunnittelu –toimintoon tai ne voisivat rajapinnan kautta siirtyä CPP:stä Yleissuunnittelu -toimintoon
- Yleissuunnitelmien rakennuskustannuksia voisi verrata toteutussuunnitelmien rakennuskustannuksiin
- Yleissuunnittelu -toiminto parantaisi yleissuunnitelmien hallintaa ja tiedottamista muille osastoille
- Kohdesuunnittelu voisi käyttää CPP:tä

7. OESJ hankkii NIM:in ja Yleissuunnittelu –toiminnon

- Tämä vaihtoehto ei ole järkevä, koska sovellukset sisältävät päällekkäisiä toimintoja

7.8 Sovellusten hankintasuositukset

Tässä työssä suositellaan seuraavien sovellusten hankintaa:

- CPP
- investointien hallinta –sovellus

OESJ:n kannattaa hankkia CPP, koska se on helppokäyttöinen ja soveltuu hyvin yleissuunnitelmien KJ-verkon rakennuskustannusten laskentaan. Yleissuunnittelu pystyy CPP:llä nopeammin ja tarkemmin laskemaan saneerauskohteiden rakennuskustannuksia verrattuna nykykäytäntöön, jossa ne lasketaan kahdella järjestelmällä. Siten yleissuunnittelu pystyy paremmin vertailemaan saneerauskohteiden vaihtoehtoisia ratkaisuja, mikä vaikuttaa investointipäätöksiin.

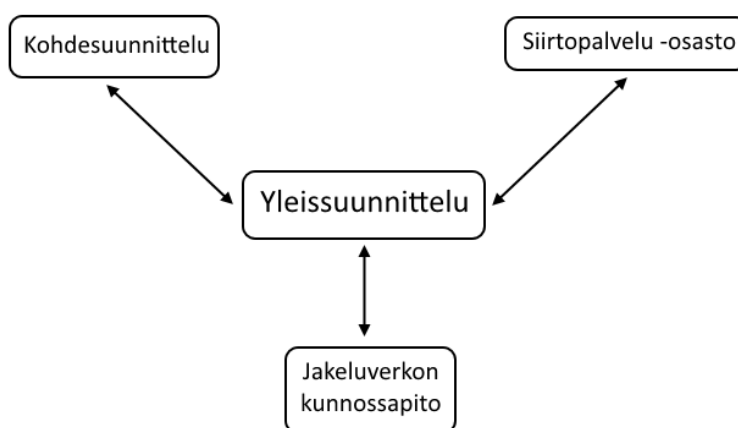
OESJ:n kannattaa hankkia investointien hallinta –sovellus, koska se parantaisi merkittävästi yleissuunnitelmien hallintaa, investointisuunnitelman ylläpitoa ja yleissuunnittelun tiedonvaihtoa muiden osastojen välillä. Investointien hallinta –sovelluksella yleissuunnittelu pystyisi vertailemaan yleissuunnitelmien rakennuskustannusarviota toteutuneisiin rakennuskustannuksiin. Näiden tietojen avulla yleissuunnittelu voisi parantaa budjetointitarkkuutta ja investointien suunnittelua.

8. YLEISSUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN

Tässä luvussa esitetään kehitysehdotuksia yleissuunnitteluun toimintaan.

8.1 Tiedonvaihto muiden osastojen kanssa

Yleissuunnittelun tiedonvaihto kohdesuunnittelun, Siirtopalvelu –osaston ja jakeluverkon kunnossapidon välillä on puutteellinen. Suurin syy tähän on se, että muut osastot eivät näe yleissuunnittelun ylläpitämää investointisuunnitelmaa ja yleissuunnittelun tekemiä yleissuunnitelmia. Muut osastot saavat yleissuunnittelusta tietoa lähes ainoastaan kysymällä. Myös tiedonvaihto kohdesuunnittelun ja Siirtopalvelu –osaston välillä sekä kohdesuunnittelun ja jakeluverkon kunnossapidon välillä on puutteellinen. Kuva 8.1 havainnollistaa osastojen välistä tiedonvaihtoa. Jakeluverkon kunnossapito kuuluu Siirtopalvelu –osastoon, mutta sitä tarkastellaan tässä luvussa erillisenä toimijana.



Kuva 8.1 Yleissuunnittelun tiedonvaihto muiden osastojen välillä.

8.2 Tiedonvaihto kohdesuunnittelun välillä

Kohdesuunnittelu saa yleissuunnittelusta liian vähän tietoa saneerauskohteista. Kohdesuunnittelijoiden olisi helpompi valita saneerauskohteita rakennusohjelmaan, jos yleissuunnittelu antaisi heille enemmän tietoa tulevien vuosien saneerauskohteista eri verkkoalueilla. Yleissuunnittelu ei myöskään laske kaikille saneerauskohteille rakennuskustannuksia. Mikäli yleissuunnittelu laskisi kattavammin saneerauskohteiden rakennuskustannukset ja välittäisi nämä tiedot kohdesuunnittelijoille, heidän olisi helpompi vertailla saneerauskohteita ja valita sopivimmat kohteet rakennusohjelmaan. Yleissuunnittelun kannattaisi

- antaa kokonaiskuva sähköverkon saneeraustarpeista ja saneerauskohteista

- jaotella saneerauskohteet selkeästi eri vuosille ja eri alueille
- laskea rakennuskustannusarviot kattavasti saneerauskohteille

Yleissuunnittelu laskee saneerauskohteiden rakennuskustannukset vain KJ-verkolle. Yleissuunnittelun kannattaisi laskea rakennuskustannukset myös PJ-verkolle, koska sen rakennuskustannukset ovat suurempia kuin KJ-verkon rakennuskustannukset. Lisäksi rakennusaikataulun suunnittelussa on myös syytä huomioida PJ-verkko. Saneerauskohteita olisi helpompi valita rakennusohjelmaan, jos myös PJ-verkon rakennuskustannukset olisivat tiedossa. Toisaalta, PJ-verkon rakennuskustannusten laskenta aiheuttaisi yleissuunnittelulle enemmän työtä. Yleissuunnittelu voisi PJ-verkon rakennuskustannukset laskea yksinkertaisilla oletuksilla, esimerkiksi arvioimalla ne saneerattavan PJ-verkon pituuden perusteella.

CPP:n käyttö mahdollistaisi sen, että yleissuunnittelu pystyisi nopeammin ja helpommin laskemaan saneerauskohteiden rakennuskustannuksia. Investointien hallinta –sovellus voisi parantaa tiedonvaihtoa yleissuunnittelun ja kohdesuunnittelun välillä. Kohdesuunnittelijat voisivat investointien hallinta –sovelluksella tarkastella yleissuunnittelun laatimaa investointisuunnitelmaa. Investointisuunnitelmassa näkyisivät tulevien vuosien saneerauskohteet eri verkkoalueille ja niiden rakennuskustannusarviot. Kohdesuunnittelu voisi antaa palautetta saneerauskohteisiin ja ehdottaa itse saneerauskohteita investointisuunnitelmaan.

8.3 Tiedonvaihto Siirtopalvelu –osaston välillä

Siirtopalvelulla on paljon tietoa sähköverkon käytöstä, käyttövarmuudesta ja vikatilanteista, jota yleissuunnittelun kannattaisi paremmin hyödyntää sähköverkon suunnittelussa. Siirtopalvelu saa yleissuunnittelusta liian myöhäisessä vaiheessa tietoa uudisrakennus- ja saneerauskohteista, jolloin sen on vaikeampi vaikuttaa niiden toteutukseen. Yleissuunnittelun kannattaisi

- tiedottaa siirtopalvelua varhaisessa vaiheessa saneeraus- ja uudisrakennuskohteista
- ottaa siirtopalvelun ehdotukset paremmin huomioon sähköverkon suunnittelussa

Investointien hallinta –sovellus parantaisi tiedonvaihtoa yleissuunnittelun ja siirtopalvelun välillä. Siirtopalvelu voisi investointien hallinta –sovelluksella tarkastella uudisrakennus- ja saneerauskohteiden yleissuunnitelmia ja antaa niihin palautetta. Silloin yleissuunnittelu voisi ottaa siirtopalvelun ehdotukset paremmin suunnittelussa huomioon.

8.4 Tiedonvaihto jakeluverkon kunnossapidon välillä

Jakeluverkon kunnossapidosta siirtyy liian vähän tietoa yleissuunnitteluun. Ongelma on se, että kunnossapitomestarilla menee suurin osa ajasta urakoitsijoiden opastamiseen,

jotka suorittavat kuntotarkastuksia ja kunnossapitotehtäviä. Urakoitsijat kirjaavat sähköverkon kunnossapitotietoja VTJ:ään, mutta kunnossapitomestarilla ei ole tarpeeksi aikaa näiden tietojen analysointiin ja analysointitulosten välittämiseen yleissuunnitteluun. Myös yleissuunnittelulla ei ole tarpeeksi aikaa kunnossapitotietojen analysointiin. Toinen ongelma on se, ettei kunnossapitomestari tiedä, mitä saneerauskohteita yleissuunnittelu on valinnut investointiohjelmaan.

Investointien hallinta –sovellus voisi parantaa tiedonvaihtoa jakeluverkon kunnossapidon ja yleissuunnittelun välillä. Kunnossapitomestari voisi investointien hallinta –sovelluksella katsoa, mitä saneerauskohteita yleissuunnittelu on valinnut investointiohjelmaan. Lisäksi kunnossapitomestari voisi itse ehdottaa saneerauskohteita investointisuunnitelmaan ja kirjata kunnossapitotietoa saneerauskohteisiin.

8.5 Keskeytys- ja kunnossapitokustannusten mallintaminen

Yleissuunnittelu mallintaa haja-asutusalueen saneerauskohteiden keskeytyskustannukset vikataajuuksilla ja viankorjauskustannuksen yksikköhinnoilla. Lisäksi yleissuunnittelu laskee kunnossapitokustannukset yksikköhinnoilla. Yleissuunnittelun kannattaisi tarkentaa näitä parametreja ja luoda tarkempi malli vika- ja kunnossapitokustannusten laskentaan. OESJ tulee lähivuosina investoimaan paljon Yli-Iin haja-asutusalueeseen, joka liittyy OESJ:n jakeluverkkoalueeseen vuona 2013. Saneerausinvestointien tarkastelussa on tärkeää, että keskeytys- ja kunnossapitokustannukset voidaan mallintaa mahdollisimman tarkasti. Parametrien mallintamisessa kannattaisi hyödyntää

- vikatilastoja
- toteutuneita keskeytys- ja kunnossapitokustannuksia
- urakoitsijoiden palveluhinnastoa viankorjaus- ja kunnossapitotoimenpiteille

Keskeytyskustannuksien mallintamisessa tulisi huomioida myös epäsuoria kustannuksia, kuten esimerkiksi jään- ja lumenpoisto sekä viankorjaushenkilökunnan varallaolomaksut. Saneerausinvestointien suunnittelussa kannattaisi huomioida myös alueellisia olosuhdetekijöitä. Esimerkiksi tykkylumen esiintyminen riippuu voimakkaasti alueesta. Siirtopalvelu -osasto voisi kirjata keskeytys- ja kunnossapitotietoja ja niihin liittyviä kustannustietoja investointien hallinta –sovellukseen, jolloin ne olisivat yleissuunnittelun hyödynnettävissä.

8.6 Haja-asutusalueen jakeluverkon suunnitteluohje

Yleissuunnittelun kannattaisi luoda uusi haja-asutusalueen jakeluverkon suunnitteluohje tai tarkentaa jo olemassa olevia suunnitteluohjeita. Haja-asutusalueen jakeluverkon rakenteelle löytyy monia vaihtoehtoja, mikä vaikeuttaa sen suunnittelua. Suunnitteluohje toisi yleissuunnittelulle, kohdesuunnittelulle ja Siirtopalvelu –osastolle selkeyttä haja-

asutusalueen jakeluverkon suunnitteluun ja helpottaisi saneerauskohteiden suunnittelua. Suunnitteluohje voisi sisältää mm. seuraavia asioita:

- erotinvälit ilmajohdoissa
- muuntamoratkaisut kaapeliverkossa
- varayhteydet
- runko- ja haarajohtojen poikkipinnat

9. YHTEENVETO

Työssä testattiin kolme sovellusta ja tarkoituksena oli selvittää niiden soveltuvuus OESJ:n yleissuunnitteluun ja investointien hallintaan. Työn toinen tavoite oli laatia kehitysehdotuksia yleissuunnittelun toimintaan.

Työn alkuvaiheessa perehdyttiin yleissuunnittelun teoriaan. Yleissuunnittelu luo tekniset ja taloudelliset pääsuuntaviivat sähköverkon strategiselle ja pitkän tähtäimen kehittämiselle. Yleissuunnittelun tavoitteena on löytää optimaalinen teknis-taloudellinen mitoitus sähköverkolle, joka olisi luotettava ja täyttäisi tekniset vaatimukset pitkälle aikavälille. Yleissuunnittelu suunnittelee sähköverkkoyhtiön strategiset investoinnit ja ylläpitää investointisuunnitelmaa.

Teoriaosuuden jälkeen kuvailtiin OESJ:n yleissuunnittelun nykytilannetta. Siinä tarkasteltiin yleissuunnittelun toimintatapoja, tehtäviä, tiedonvaihtoa muihin osastoihin ja sidosryhmiin sekä yleissuunnittelun roolia sähköverkon suunnitteluprosesseissa. Yleissuunnittelun nykyisissä toimintamenetelmissä on kaksi pääongelmaa. Ensimmäinen pääongelma liittyy sähköverkon rakennuskustannusten laskentaan. Yleissuunnittelu laskee sähköverkon rakennuskustannukset kahdella järjestelmällä, jotka ovat NIS ja Excel. Tämä menetelmä on hidas ja työläs. Toinen pääongelma on se, että yleissuunnitelmat ja siihen liittyvät budjetti- ja aikataulutiedot sijaitsevat eri järjestelmissä ja eri tiedostoissa. Tämä vaikeuttaa yleissuunnitelmien hallintaa ja investointien suunnittelua.

Ensimmäinen testattava sovellus oli Trimble CPP. Se on NIS:n sovellus, joka laskee verkkokomponenttien rakennuskustannukset yksikköhintalistalla. CPP:n toimintaa ja käytettävyyttä testattiin laskemalla sillä rakennuskustannukset kahdelle yleissuunnittelumalle, yhdelle uudisrakennuskohteelle ja yhdelle saneerauskohteelle. CPP:n testauksessa havaittiin, että se mahdollistaa tarkemman ja nopeamman rakennuskustannusten laskennan verrattuna Exceliin. CPP:n hyöty verrattuna Exceliin on sitä suurempi, mitä laajempi tarkasteltava sähköverkko on ja mitä enemmän erityyppisiä verkkokomponentteja ja johdinpoikkipintoja siinä on.

Toinen testattava sovellus oli Trimble NIM. Se on NIS:n sovellus, jolla voi aikatauluttaa, budjetoida ja tarkastella teknisiä ja taloudellisia tunnuslukuja investoinneille. NIM:in etu on se, että sähköiset suunnitelmat ja kaikki investointien hallintaan tarvittavat tiedot sijaitsevat samassa järjestelmässä, mikä helpottaa tietojen hallintaa ja investointien suunnittelua. Investoinnin tunnusluvut tarkentuvat suunnitteluprosessin edetessä, mikä mahdollistaa hyvän seurannan koko investoinnin elinkaaren ajalta. NIM tarjoaa hyvät toiminnot investointisuunnitelman ylläpitoon ja seurantaan. Investointeja voidaan

verrata ja priorisoida lukuisilla tunnusluvuilla. Myös muut osastot pystyvät näkemään investointien tietoja ja antamaan niihin palautetta. NIM:in kokonaishyöty on suurempi, jos yleissuunnittelun lisäksi myös kohdesuunnittelu integroidaan NIM:iin. Tämä vaatisi rajapinnan HeadPower Työnohjaus sovellukseen.

Kolmas testattava sovellus oli HeadPower Työnohjaus sovellukseen liitettävä Yleissuunnittelu –toiminto. Yleissuunnittelu –toiminnolla voidaan hallita yleissuunnitelmia, jotka ovat rinnastettavissa investointeihin. Yleissuunnitelmia voidaan aikatauluttaa, budjetoida, liittää verkostotöihin, ja yleissuunnitelmien budjettia voidaan verrata verkostotöiden toteutuneisiin rakennuskustannuksiin. Yleissuunnittelu –toiminnolla on helppo ylläpitää investointisuunnitelmaa. Myös muiden osastojen on helppo nähdä yleissuunnitelmien tietoja ja antaa niihin palautetta. Yleissuunnittelu -toiminnolla on helppo verrata yleissuunnitelmia kohdesuunnitelmiin, koska kohdesuunnitelmien tiedot sijaitsevat samassa järjestelmässä. Yleissuunnittelu –toiminnon haittapuoli on se, että sillä ei voi tarkastella sähköisiä suunnitelmia, koska ne sijaitsevat eri järjestelmässä.

Lopuksi esitettiin kehitysehdotuksia yleissuunnittelun toimintaan. Yleissuunnittelun tiedonvaihdossa kohdesuunnittelun ja Siirtopalvelu –osaston välillä on parantamisen varaa. Investointien hallinta –sovelluksen käyttö voisi merkittävästi parantaa tiedonvaihtoa, jolloin muut osastot voisivat nähdä yleissuunnittelun laatiman investointisuunnitelman ja antaa siihen palautetta tai tehdä omia ehdotuksia investointikohteista. Eräs toinen kehitysehdotus on se, että yleissuunnittelun kannattaisi antaa kohdesuunnittelulle enemmän tietoa saneerauskohteista ja laskea niille kattavammin rakennuskustannusarviot. Silloin kohdesuunnittelijoiden olisi helpompi valita saneerauskohteita rakennusohjelmaan. Työssä esitettiin myös muita ehdotuksia yleissuunnittelun kehittämiseksi.

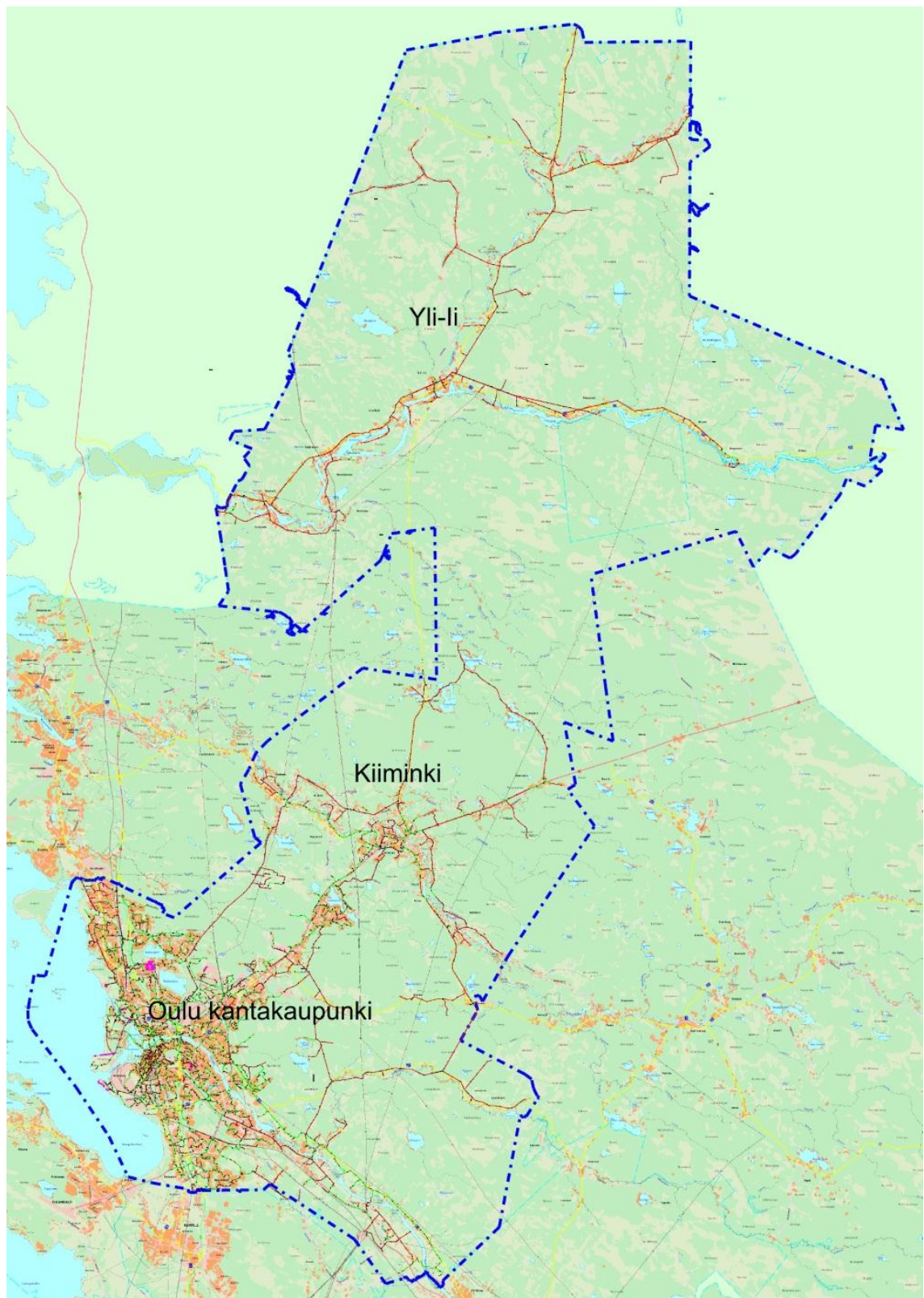
Työn johtopäätöksenä suositellaan CPP:n ja investointien hallinta –sovelluksen hankintaa. CPP mahdollistaisi nopeamman ja tarkemman yleissuunnitelmien rakennuskustannusten laskennan verrattuna yleissuunnittelun nykykäytäntöön. Investointien hallinta –sovellus parantaisi merkittävästi yleissuunnitelmien hallintaa, investointiohjelman ylläpitoa ja yleissuunnittelun tiedonvaihtoa muiden osastojen välillä.

LÄHTEET

- [1] Oulun Energia –konserni, Oulun Energia, verkkosivu Saatavissa (viitattu 3.11.2014): www.oulunenergia.fi/konserni
- [2] Turveruukki Oy, Oulun Energia, verkkosivu Saatavissa (viitattu 4.11.2014): www.oulunenergia.fi/konserni/turveruukki_oy
- [3] Oulun Energia Urakointi Oy, Oulun Energia, verkkosivu Saatavissa (viitattu 3.11.2014): www.oulunenergia.fi/konserni/oulun_energia_urakointi_oy
- [4] E. Lakervi, Sähkönjakeluverkkojen Suunnittelu, Otatieto Oy, Helsinki, 1996, 110 s.
- [5] E. Lakervi, J. Partanen, Sähkönjakelutekniikka, 3. painos, Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki, 2012, 295 s.
- [6] K. Alhola, S. Lauslahti, Laskentatoimi ja Kannattavuuden Hallinta, 1.-5. painos, Werner Söderström Osakeyhtiö, 2006, 400 s.
- [7] Sähkön käytön kuormitustutkimus 1992, Tuotenumero 7103, Sähköenergialiitto ry SENER, Helsinki 1992, 172 s.
- [8] Sähkömarkkinalaki, L 588/2013, 01.09.2013. Saatavissa: www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588
- [9] Liite 1 – Valvontamenetelmät sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioimiseksi 1.1.2012 alkaavalla ja 31.12.2015 päättyvällä kolmannella valvontajaksolla, muutettu 29.11.2013, Energiamarkkinavirasto, 74 s. Saatavissa: www.energiavirasto.fi/vahvistuspaatosasiakirjat-2012-2015
- [10] Suomen valtion viitelainojen korot, Suomen pankki, verkkosivu Saatavissa (viitattu 27.4.2015): www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/arvopaperitilastot/Pages/tilastot_arvopaperimarkkinat_velkapaperit_viitelainojen_korot_fi.aspx
- [11] Jakeluverkkotoimintaa koskevat tunnusluvut, niiden laskentakaavat ja –ohjeet, Energiavirasto, 23 s. Saatavissa: www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Jakeluverkontunnuslukuohjeet_2012.pdf
- [12] Tietoa Teklasta, Tekla, verkkosivu Saatavissa (viitattu 18.5.2015): www.tekla.com/fi/tietoa-teklasta/lyhyesti
- [13] Trimble NIS, Käyttäjän käsikirja, Versio 14.1, Trimble, 15.5.2014, 1078 s.

- [14] Yritysesittely, HeadPower on asiakkaidensa summa, HeadPower, verkkosivu Saatavissa (viitattu 31.3.2015): www.headpower.fi/yritys/yritysesittely
- [15] Sähkö – Suunnittelu, Sähkönjakelun Yksiköt, HeadPower, verkkosivu Saatavissa (viitattu 31.3.2015): www.headpower.fi/ratkaisumallit/sahkoverkostoihin/suunnittelu/
- [16] Asemakaavan selostus 8.12.2014 päivättyyn Oulun kaupungin Pateniemen ja Herukan kaupunginosia koskevaan asemakaavan muutokseen sekä Pateniemen kaupunginosan osaa koskevaan asemakaavaan (Pateniemenranta), Oulu Yhdyskunta ja ympäristöpalvelut, 36 s. Saatavissa: <http://oulu.ouka.fi/tekninen/Suunnitelmat/Projektikortti.asp?ID=817>
- [17] Kaavamerkinnät ja –määräykset, Oulu Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut, 5.5.2015, 236 s. Saatavissa: www.ouka.fi/oulu/kaupunkisuunnittelu/asemakaavamerkinnat-ja-maaraykset

Liite A: OESJ:n keskijänniteverkko



Liite B: OESJ:n luotettavuusparametrit

| Vikataajuus | [kpl/100 kpl] |
|----------------|---------------|
| Pylväsmuuntamo | 0,2 |
| Puistomuuntamo | 0,1 |

| Vikataajuus | [kpl/km] |
|-----------------|----------|
| Työkeskeytykset | 0,06 |

| Korjausajat | Metsä [h/kpl] | Tienvarsi/pelto [h/kpl] |
|------------------------|---------------|-------------------------|
| Kirkas ja päällystetty | 3 | 2 |
| Maakaapeli | 4 | 4 |

| Kytkentäajat | [h] |
|-------------------------|------|
| Kytkentäaika k-o | 0,15 |
| Kytkentäaika käsiohjaus | 0,75 |
| Vian kesto aika | 2 |
| Työkeskeytyksen pituus | 1,5 |

| Kunnossapitokustannus | [€/km,a] |
|-----------------------|----------|
| Ilmajohto, metsä | 150 |
| Ilmajohto, pelto | 30 |
| Maakaapeli | 10 |

| Viankorjauskustannus | [€/vika] |
|----------------------|----------|
| Ilmajohto | 1200 |
| Maakaapeli | 3500 |

Liite C: EV:n verkkokomponentit ja indeksikorjatut yksikköhinnat vuodelle 2014

| Muuntamot | Yksikkö | Yksikköhinta euroa |
|------------------------------------|---------|-----------------------|
| 1-pylväsmuuntamo | kpl | 5 040 |
| 2-pylväsmuuntamo | kpl | 6 700 |
| 4-pylväsmuuntamo | kpl | 7 710 |
| Kevyt puistomuuntamo | kpl | 9 170 |
| Puistomuuntamo, ulkoa hoidettava | kpl | 24 540 |
| Puistomuuntamo, sisältä hoidettava | kpl | 33 990 |
| Kiinteistömuuntamo | kpl | 53 590 |
| Erikoismuuntamo | kpl | 81 140 |
| Kaapeloitu erotinasema | kpl | 25 420 |
| 1 kV suojalaitteet | kpl | 2 040 |

| Muuntajat | Yksikkö | Yksikköhinta euroa |
|-------------------------|---------|-----------------------|
| 16 kVA | kpl | 3 360 |
| 30 kVA | kpl | 3 360 |
| 50 kVA | kpl | 3 430 |
| 100-160 kVA | kpl | 4 920 |
| 200 kVA | kpl | 6 450 |
| 300-315 kVA | kpl | 7 930 |
| 500-630 kVA | kpl | 10 160 |
| 800 kVA | kpl | 14 430 |
| 1000 kVA | kpl | 16 390 |
| 1250 kVA | kpl | 19 510 |
| 1600 kVA | kpl | 19 510 |
| 20/10 kV muuntajat | kpl | 250 990 |
| 10/20 kV muuntajat | kpl | 254 230 |
| 45/20 kV muuntajat | kpl | 279 120 |
| 20/20 kV säätömuuntajat | kpl | 205 550 |

| 20 kV ilmajohtot | Yksikkö | Yksikköhinta euroa |
|---------------------------------------|---------|-----------------------|
| Sparrow tai pienempi | km | 20 760 |
| Raven | km | 24 610 |
| Pigeon | km | 26 570 |
| AI 132 tai suurempi | km | 29 930 |
| Yleiskaapeli 70 tai pienempi | km | 46 170 |
| Yleiskaapeli 95 tai suurempi | km | 48 910 |
| Päällystetty avojohto 35 - 70 | km | 30 020 |
| Päällystetty avojohto 95 tai suurempi | km | 32 160 |
| Muut | km | 20 760 |

| 20 kV erottimet ja katkaisijat | Yksikkö | Yksikköhinta euroa |
|---|---------|-----------------------|
| Johtoerotin, 1-vaiheinen huoltoerotin | kpl | 320 |
| Johtoerotin, kevyt | kpl | 3 530 |
| Johtoerotin, katkaisukammioin | kpl | 5 170 |
| Kauko-ohjattu erotinasema, 1 erotin | kpl | 14 020 |
| Kauko-ohjattu erotinasema, 2 erotinta | kpl | 26 100 |
| Kauko-ohjattu erotinasema, 3-4 erotinta | kpl | 37 050 |
| Pylväskatkaisija, kauko-ohjattava | kpl | 17 170 |
| 20 kV katkaisija-asema | kpl | 81 140 |
| 20/20 kV säätöasema | kpl | 205 550 |

| 20 kV maakaapelit (asennus) | Yksikkö | Yksikköhinta euroa |
|------------------------------------|---------|-----------------------|
| Enintään 70 maakaapeli | km | 24 520 |
| 95 - 120 maakaapeli | km | 32 290 |
| 150 - 185 maakaapeli | km | 37 940 |
| 240 - 300 maakaapeli | km | 45 390 |
| 400 - 500 maakaapeli | km | 84 920 |
| 630 - 800 maakaapeli | km | 151 030 |
| Enintään 70 vesistökaapeli | km | 41 040 |
| 95 - 120 vesistökaapeli | km | 43 000 |
| 150 - 185 vesistökaapeli | km | 46 730 |
| Kojeistopääte | kpl | 1 260 |
| Pylväspääte | kpl | 2 370 |
| Jatko | kpl | 2 010 |

| 0,4 ja 20 kV maakaapelit (kaivu) | Yksikkö | Yksikköhinta euroa/km |
|---|---------|--------------------------|
| Helppo | km | 10 120 |
| Normaali | km | 23 110 |
| Vaikea | km | 66 000 |
| Erittäin vaikea | km | 128 240 |

Liite D: Pateniemenrannan asemakaavan muuntamoiden mitoitus

| Eteläkärki | | | | | |
|----------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------|
| Nro | Asuntotyyppi | Kerrosala (m2) | Vuosienergia (kWh) | Huipputeho (kW) | Asiakasmäärä |
| Muuntopiiri #1 | | | | | |
| 1 | AO | 2 270 | 340 500 | 136 | 9 |
| 2 | AO | 2 726 | 408 900 | 164 | 10 |
| 3 | AO | 2 597 | 389 550 | 156 | 10 |
| | | | 1 138 950 | 456 | 29 |
| Muuntopiiri #2 | | | | | |
| 4 | AO | 2 437 | 365 550 | 146 | 9 |
| 5 | AO | 1 157 | 173 550 | 69 | 5 |
| 6 | AP | 2 550 | 382 500 | 153 | 14 |
| 9 | AP | 3 133 | 470 000 | 188 | 15 |
| | | | 1 391 600 | 557 | 43 |
| Muuntopiiri #3 | | | | | |
| 7 | AP | 6 838 | 1 025 700 | 410 | 33 |
| 12 | AO | 750 | 112 500 | 45 | 3 |
| | | | 1 138 200 | 455 | 36 |
| Muuntopiiri #4 | | | | | |
| 8 | AP | 8 660 | 1 299 000 | 520 | 42 |
| 11 | AO | 1 400 | 210 000 | 84 | 4 |
| | | | 1 509 000 | 604 | 46 |
| Muuntopiiri #5 | | | | | |
| 9 | AP | 2 507 | 376 000 | 150 | 12 |
| 10 | AP | 6 608 | 991 200 | 396 | 29 |
| | | | 1 367 200 | 547 | 41 |
| Pohjoiskärki | | | | | |
| Nro | Asuntotyyppi | Kerrosala (m2) | Vuosienergia (kWh) | Huipputeho (kW) | Asiakasmäärä |
| Muuntopiiri #1 | | | | | |
| 13 | AKR | 6 300 | 504 000 | 202 | 84 |
| 15 | AO | 4 480 | 672 000 | 269 | 14 |
| | | | 1 176 000 | 470 | 98 |
| Muuntopiiri #2 | | | | | |
| 14 | AKR | 8 000 | 640 000 | 256 | 107 |
| 17 | AK | 12 600 | 693 000 | 277 | 168 |
| | | | 1 333 000 | 533 | 275 |
| Muuntopiiri #3 | | | | | |
| 16 | AK | 27 800 | 1 529 000 | 612 | 371 |
| | | | 1 529 000 | 612 | 371 |

| Koivikko | | | | | |
|----------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------|
| Nro | Asuntotyyppi | Kerrosala (m2) | Vuosienergia (kWh) | Huipputeho (kW) | Asiakasmäärä |
| Muuntopiiri #1 | | | | | |
| 18 | PL | 880 | 176 000 | 70 | 1 |
| 19 | AP | 5 288 | 793 200 | 317 | 14 |
| 20 | AR | 5 082 | 406 528 | 163 | 16 |
| | | | 1 375 728 | 550 | 31 |
| Muuntopiiri #2 | | | | | |
| 21 | AR | 12 014 | 961 120 | 384 | 44 |
| 23 | P | 1 130 | 226 000 | 90 | 2 |
| 20 | AR | 2 858 | 228 672 | 91 | 9 |
| | | | 1 415 792 | 566 | 55 |
| Muuntopiiri #3 | | | | | |
| 22 | AP | 8 388 | 1 258 200 | 503 | 25 |
| 24 | AK | 3310 | 182 050 | 73 | 44 |
| | | | 1 440 250 | 576 | 69 |

Liite E: Hannuslenkin jakelumuuntajien mitoitus

| Tunnus | Sijainti | Vanha kuormitusaste | Vanha nimellisteho (kVA) | Uusi nimellisteho (kVA) |
|--------|---------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1248 | Erotilasema Rajatie | 37 % | 200 | 200 |
| 1011 | Runkojohto | 37 % | 50 | 50 |
| 838 | Runkojohto | 76 % | 30 | 50 |
| 943 | Runkojohto | 25 % | 50 | 50 |
| 336 | Runkojohto | 12 % | 50 | 50 |
| 337 | Runkojohto | 89 % | 100 | 160 |
| 808 | Runkojohto | 45 % | 50 | 50 |
| 499 | Runkojohto | 40 % | 100 | 100 |
| 591 | Runkojohto | 41 % | 100 | 100 |
| 939 | Runkojohto | 23 % | 50 | 50 |
| 425 | Runkojohto | 10 % | 30 | 50 |
| 557 | Runkojohto | 41 % | 50 | 50 |
| 873 | Runkojohto | 57 % | 100 | 160 |
| 558 | Runkojohto | 119 % | 50 | 160 |
| 1217 | Iso Viitajärvi | 27 % | 50 | 50 |
| 810 | Iso Viitajärvi | 69 % | 50 | 100 |
| 809 | Iso Viitajärvi | 33 % | 50 | 50 |
| 247 | Kotajärventie | 57 % | 100 | 160 |
| 618 | Tervajärventie | 33 % | 30 | 50 |

Liite F: Hannuslenkin KAH kustannusten laskenta

| | Maakaapeliverkko | Ilmajohtoverkko |
|--|--------------------|--------------------|
| $h_{E,odott}$ | 11 €/kWh | 11 €/kWh |
| $h_{W,odott}$ | 1,1 €/kW | 1,1 €/kW |
| KHI_{k-1} | 137,4 | 137,4 |
| KHI_{2004} | 113,5 | 113,5 |
| 2. Tilanne: Osa 2 on vioittunut | | |
| KAH kustannukset kertyvät 9 min koko johtolähdölle | | |
| Vikataajuus | 0,01 kpl/(km·a) | 0,05 kpl/(km·a) |
| Pituus (osa 2) | 15,614 km | 15,614 km |
| n_{odott} | 0,156 kpl/a | 0,781 kpl/a |
| t_{odott} | 0,15 h · 0,156 | 0,15 h · 0,781 |
| P_{as} (koko lähtö) | 701,4 kW | 701,4 kW |
| KAH | 364,6 €/a | 1 823,0 €/a |
| KAH kustannukset kertyvät 2 h osalle 2 | | |
| Vikataajuus | 0,01 kpl/(km·a) | 0,05 kpl/(km·a) |
| Pituus (osa 2) | 15,614 km | 15,614 km |
| n_{odott} | 0,156 kpl/a | 0,781 kpl/a |
| t_{odott} | 2 h · 0,156 | 2 h · 0,781 |
| P_{as} (osa 2) | 74,4 kW | 74,4 kW |
| KAH | 324,8 €/a | 1 623,8 €/a |
| 3. Tilanne: Osa 3 on vioittunut | | |
| KAH kustannukset kertyvät 9 min koko johtolähdölle | | |
| Vikataajuus | 0,01 kpl/(km·a) | 0,05 kpl/(km·a) |
| Pituus (osa 3) | 9,269 km | 9,269 km |
| n_{odott} | 0,093 kpl/a | 0,463 kpl/a |
| t_{odott} | 0,15 h · 0,093 | 0,15 h · 0,463 |
| P_{as} (koko lähtö) | 701,4 kW | 701,4 kW |
| KAH | 216,4 €/a | 1 082,2 €/a |
| KAH kustannukset kertyvät 2 h osalle 3 | | |
| Vikataajuus | 0,01 kpl/(km·a) | 0,05 kpl/(km·a) |
| Pituus (osa 3) | 9,269 km | 9,269 km |
| n_{odott} | 0,093 kpl/a | 0,463 kpl/a |
| t_{odott} | 2 h · 0,093 | 2 h · 0,463 |
| P_{as} (osa 3) | 85,5 kW | 85,5 kW |
| KAH | 221,6 €/a | 1 107,9 €/a |
| KAH_{summa} | 1 127,4 €/a | 5 636,9 €/a |